

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)

**FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“ANÁLISIS Y PREDICCIÓN DE RIESGO POR DESPRENDIMIENTO DE
ROCAS EN EL DISTRITO DE ASCENSIÓN - HUANCAMELICA”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

GEOTECNIA

PRESENTADO POR:

Bach. PAITÁN SEDANO, Víctor
Bach. VENTURA SULLCA, Edman

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCAMELICA, PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 28 días del mes de octubre del año 2019, a horas 10:00 a.m., se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **M.Sc. Hugo Rubén LUJAN JERI (PRESIDENTE)**, **Mg. Jorge Luis ORTEGA VARGAS (SECRETARIO)**, **M.Sc. Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES (VOCAL)**, designados con Resolución de Decano N° 162-2018-FCI-UNH, de fecha 30 de noviembre del 2018, así mismo los miembros de Jurados Evaluadores han sido reestructurados con la Resolución de Decano N°183-2019-FCI-UNH, de fecha 15 de octubre del 2019 y ratificados con Resolución de Decano N° 192-2019-FCI-UNH de fecha 23 de octubre del 2019, a fin de proceder con la calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "ANÁLISIS Y PREDICCIÓN DE RIESGO POR DESPRENDIMIENTO DE ROCAS EN EL DISTRITO DE ASCENSIÓN-HUANCVELICA", presentado por los Bachilleres **Victor PAITÁN SEDANO y Edman VENTURA SULLCA** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**; en presencia del **M.Sc. Iván Arturo AYALA BIZARRO** como Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas...11.2.m...; se invitó al público presente y a los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

Victor PAITÁN SEDANO

APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

Edman VENTURA SULLCA

APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

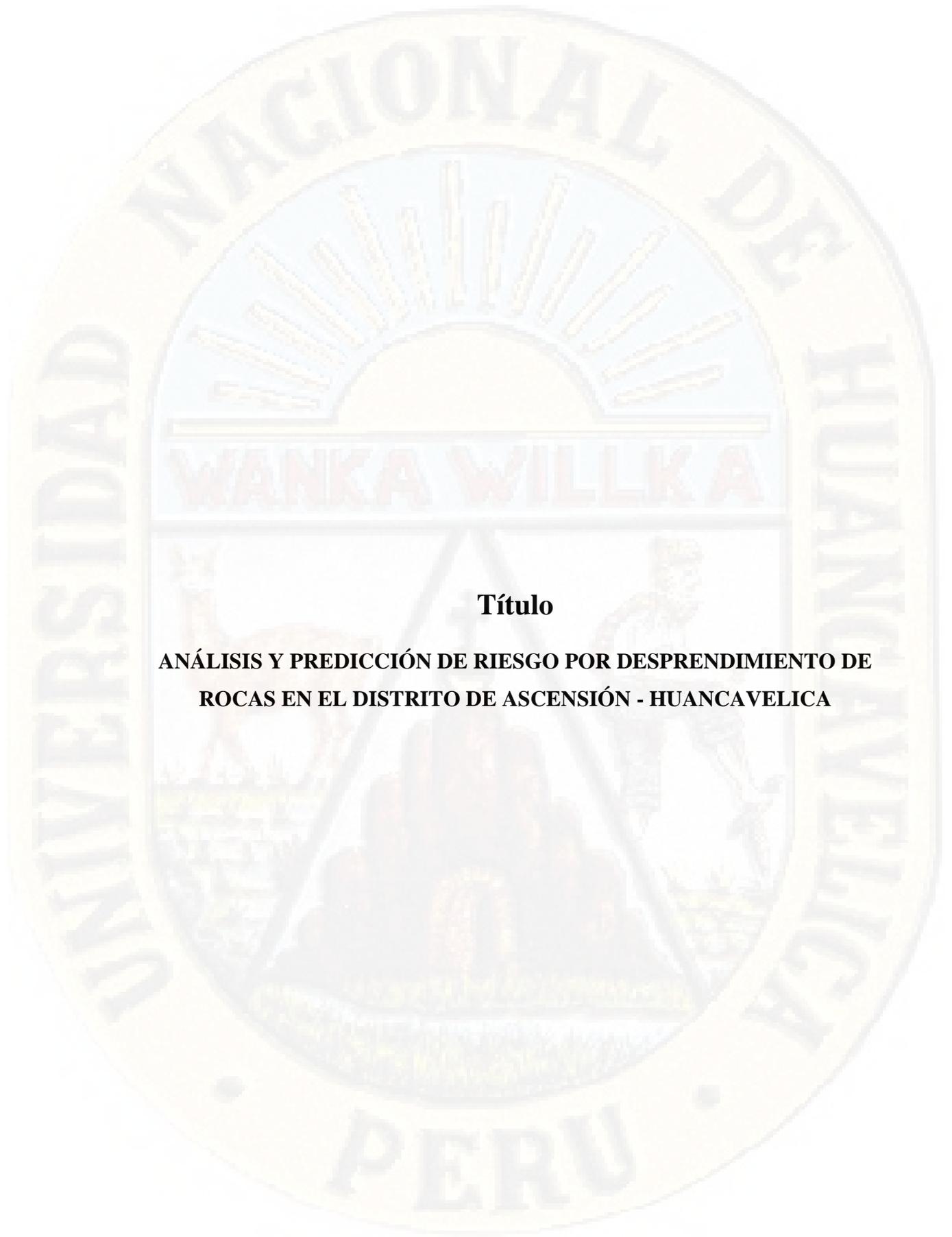
En señal de conformidad, firmamos a continuación:

Presidente

Secretario

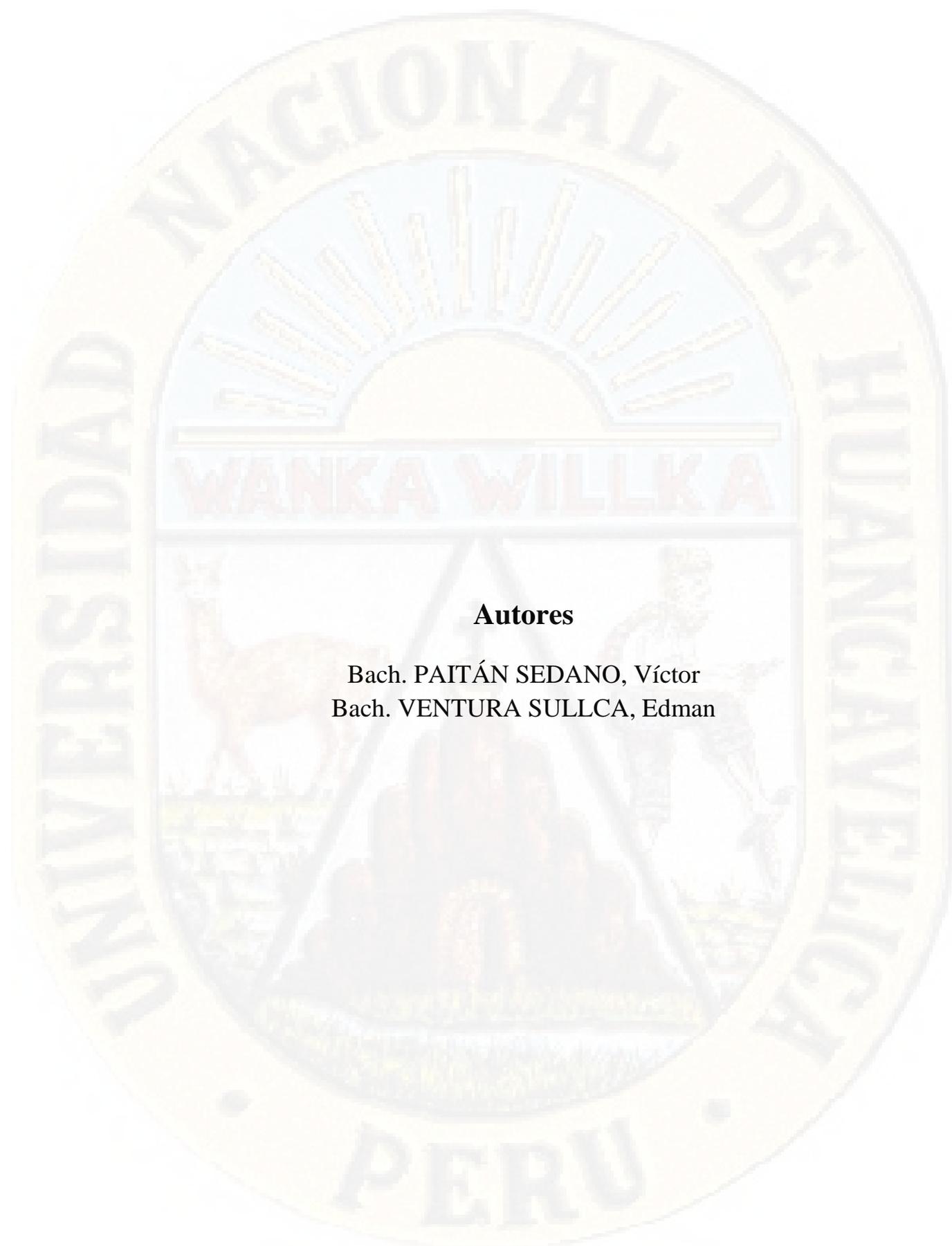
Vocal

Vº Bº Decano



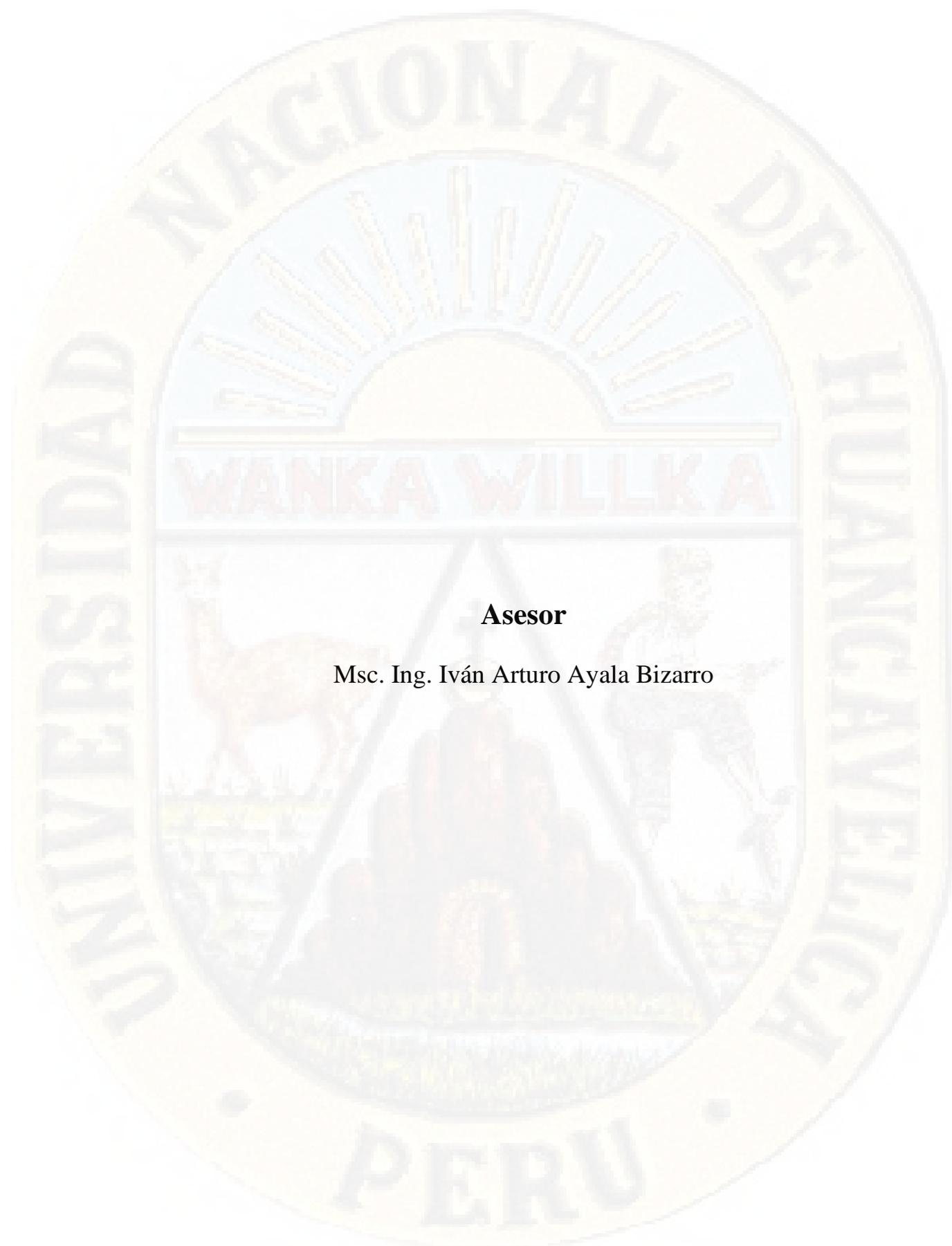
Título

**ANÁLISIS Y PREDICCIÓN DE RIESGO POR DESPRENDIMIENTO DE
ROCAS EN EL DISTRITO DE ASCENSIÓN - HUANCVELICA**



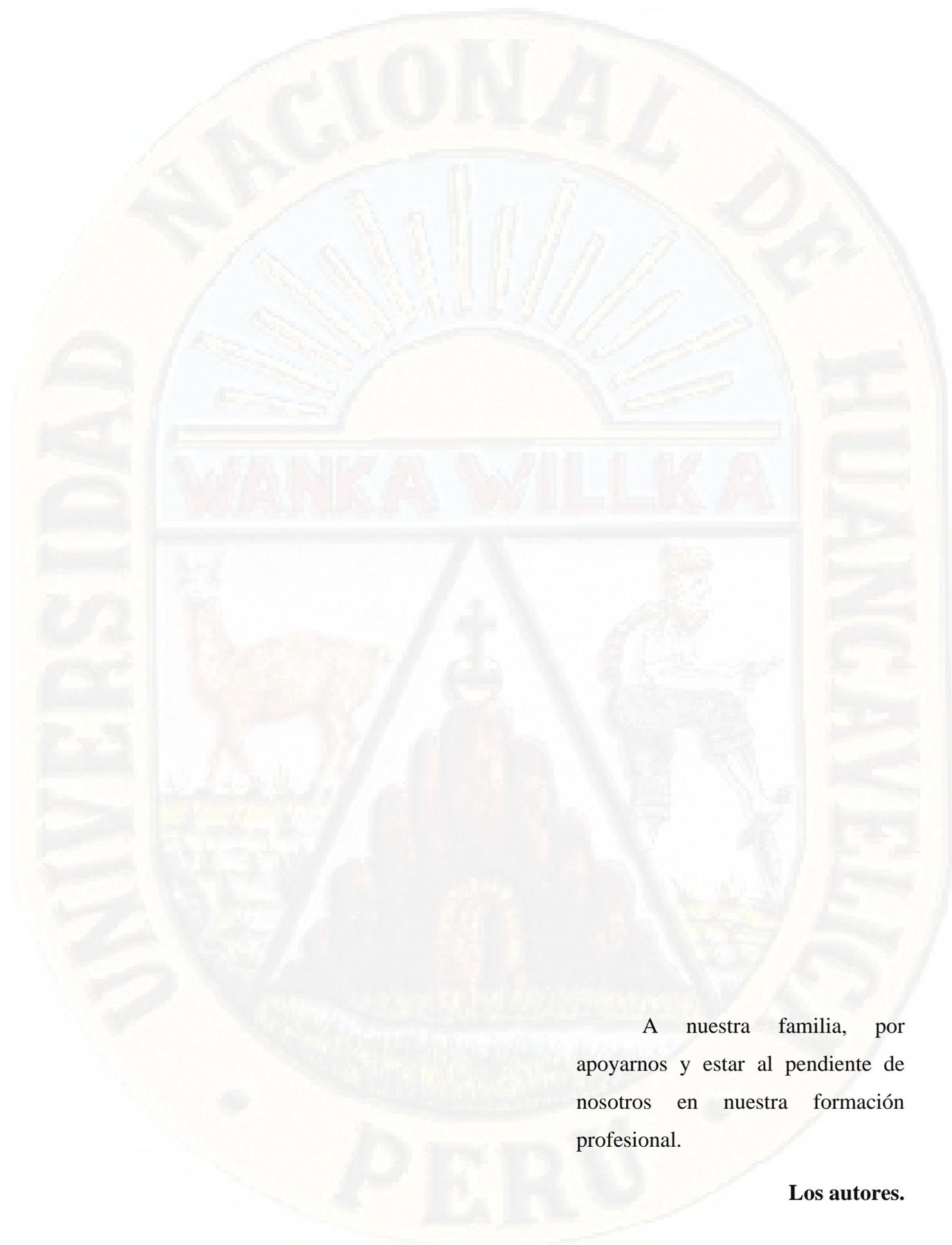
Autores

Bach. PAITÁN SEDANO, Víctor
Bach. VENTURA SULLCA, Edman



Asesor

Msc. Ing. Iván Arturo Ayala Bizarro



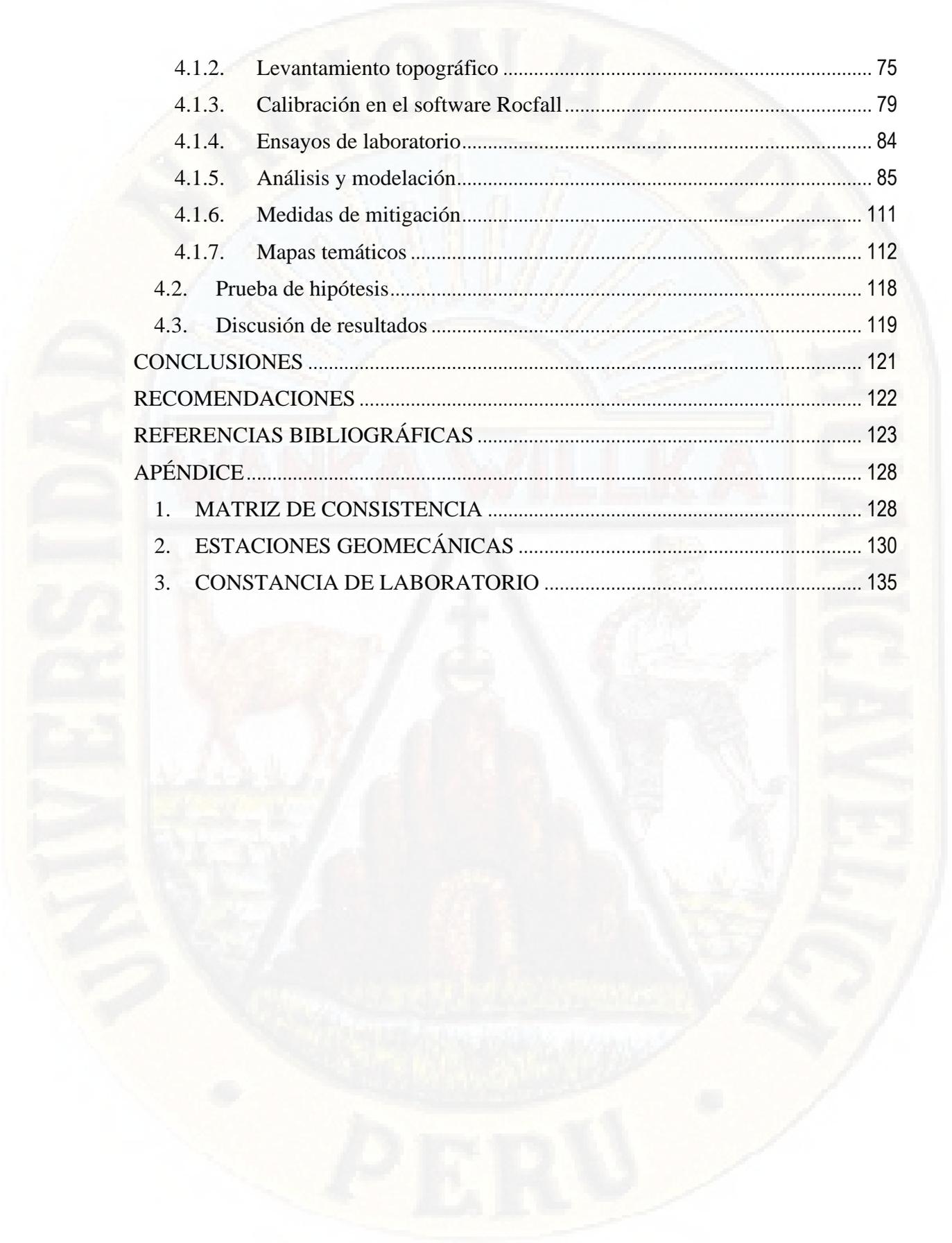
A nuestra familia, por apoyarnos y estar al pendiente de nosotros en nuestra formación profesional.

Los autores.

Índice general

| | |
|--|-------|
| Acta de sustentación | ii |
| Título..... | iii |
| Autores..... | iv |
| Asesor | v |
| Índice general..... | vii |
| Índice de tablas | x |
| Índice de figuras | xi |
| Resumen | xvi |
| Abstract..... | xvii |
| Introducción | xviii |
| CAPÍTULO I | 1 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.1. Descripción del problema..... | 1 |
| 1.2. Formulación del problema | 2 |
| 1.2.1. Problema general..... | 2 |
| 1.2.2. Problemas específicos..... | 2 |
| 1.3. Objetivos..... | 2 |
| 1.3.1. Objetivo general | 2 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 2 |
| 1.4. Justificación..... | 3 |
| 1.5. Limitaciones..... | 4 |
| CAPÍTULO II..... | 5 |
| MARCO TEÓRICO..... | 5 |
| 2.1. Antecedentes | 5 |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales..... | 5 |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales..... | 8 |
| 2.1.3. Antecedentes locales | 9 |
| 2.2. Bases teóricas..... | 12 |
| 2.2.1. Análisis y predicción de riesgos | 12 |
| 2.2.2. Desprendimiento de rocas | 16 |
| 2.2.3. Análisis de los movimientos de rocas desprendidas | 22 |

| | | |
|--------------------------------------|---|----|
| 2.2.4. | Fundamentos teóricos en el análisis de caída de fragmentos de roca... | 25 |
| 2.2.5. | Clasificación geomecánica de los macizos rocosos..... | 31 |
| 2.3. | Bases conceptuales..... | 45 |
| 2.4. | Definición de términos | 45 |
| 2.5. | Hipótesis | 47 |
| 2.5.1. | Hipótesis general | 47 |
| 2.5.2. | Hipótesis específicas | 47 |
| 2.6. | Variables..... | 47 |
| 2.6.1. | Variable independiente | 47 |
| 2.6.2. | Variable dependiente | 47 |
| 2.7. | Operacionalización de variables..... | 48 |
| CAPÍTULO III..... | | 49 |
| METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... | | 49 |
| 3.1. | Ámbito temporal y espacial | 49 |
| 3.1.1. | Ámbito temporal..... | 49 |
| 3.1.2. | Ámbito espacial | 49 |
| 3.2. | Tipo de Investigación..... | 50 |
| 3.3. | Nivel de investigación | 50 |
| 3.4. | Población, muestra y muestreo | 51 |
| 3.4.1. | Población | 51 |
| 3.4.2. | Muestra | 51 |
| 3.4.3. | Muestreo | 51 |
| 3.5. | Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 51 |
| 3.5.1. | Técnicas | 51 |
| 3.5.2. | Instrumentos..... | 52 |
| 3.6. | Técnicas y procesamiento de análisis de datos..... | 53 |
| 3.6.1. | Método general | 53 |
| 3.6.2. | Método específico | 53 |
| 3.7. | Diseño de investigación..... | 53 |
| CAPÍTULO IV | | 54 |
| PRESENTACIÓN DE RESULTADOS..... | | 54 |
| 4.1. | Análisis de información..... | 54 |
| 4.1.1. | Visita de campo | 54 |



| | | |
|----------------------------------|--|-----|
| 4.1.2. | Levantamiento topográfico | 75 |
| 4.1.3. | Calibración en el software Rocfall | 79 |
| 4.1.4. | Ensayos de laboratorio..... | 84 |
| 4.1.5. | Análisis y modelación..... | 85 |
| 4.1.6. | Medidas de mitigación..... | 111 |
| 4.1.7. | Mapas temáticos | 112 |
| 4.2. | Prueba de hipótesis..... | 118 |
| 4.3. | Discusión de resultados | 119 |
| CONCLUSIONES | | 121 |
| RECOMENDACIONES | | 122 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 123 |
| APÉNDICE | | 128 |
| 1. | MATRIZ DE CONSISTENCIA | 128 |
| 2. | ESTACIONES GEOMECÁNICAS | 130 |
| 3. | CONSTANCIA DE LABORATORIO | 135 |

Índice de tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Varias definiciones de riesgo por deslizamientos, Duzgun & Lacasse (2005, p. 5) | 12 |
| Tabla 2. Rugosidad y Coeficientes de Restitución Tangencial y Normal. Tomado de (García, 2005, p. 125) | 18 |
| Tabla 3. Ecuaciones de caída libre | 22 |
| Tabla 4. Valoración de Q de Barton | 36 |
| Tabla 5. Índice de calidad de la roca | 36 |
| Tabla 6. Número de familias de juntas (CGI, 2014)..... | 37 |
| Tabla 7. Factor de rugosidad de las juntas (CGI, 2014)..... | 37 |
| Tabla 8. Factor de alteración de las juntas (CGI, 2014)..... | 38 |
| Tabla 9. Factor de reducción por contenido de agua en fracturas (CGI, 2014) | 38 |
| Tabla 10. Factor de reducción por tensiones (CGI, 2014)..... | 39 |
| Tabla 11. Principales programas informáticos para cálculo de caídas de rocas. (Guzzetti, Crosta, Detti, & Agliardi, 2002) | 41 |
| Tabla 12. Operacionalización de variables | 48 |
| Tabla 13. Resumen del mapeo geomecánico..... | 75 |
| Tabla 14. Distancias entre dos puntos, listas para ser graficar el perfil. | 79 |
| Tabla 15. Pesos de las rocas en las diferentes trayectorias | 80 |
| Tabla 16. Valores tabulados de coeficientes de restitución | 84 |
| Tabla 17. Peso específico de la parafina | 84 |
| Tabla 18. Peso unitario o volumétrico de las muestras de roca. | 85 |
| Tabla 19. Tabla de Valores de coeficientes de restitución normal y tangencial. | 86 |
| Tabla 20. Dimensiones, volumen y pesos de las rocas | 87 |
| Tabla 21. Resumen de resultados de la modelación sin barrera. | 99 |
| Tabla 22. Resumen de resultados de la modelación con barrera. | 110 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Bloques de roca de 2 a 3m de diámetro caídos dentro del estadio del poblado de Huamatambo (Luza & Sosa, 2016, págs. 14,15) | 10 |
| Figura 2. Representación del riesgo, como resultado de la amenaza y la vulnerabilidad (Lee & Jones, 2004)..... | 13 |
| Figura 3. Riesgo y sus componentes según: Quaas, Gurza, & Zepeda, (2009) División de Estadística de las Naciones Unidas..... | 15 |
| Figura 4. Efecto de considerar la velocidad angular (Rocscience, 2003, pág. 3)..... | 17 |
| Figura 5. Identificación de las zonas de salida y llegada después del desprendimiento rocoso. Adaptado de (Okura, Kitahara, Sammori, & Kawanami, 2000, p. 112) | 18 |
| Figura 6. Comportamiento de los bloques rocosos entre diferentes ángulos límites. Tomado de Pierson, Gullixson, & Chassie (2001, p. 1)..... | 21 |
| Figura 7. Trayectoria de la caída libre de un bloque. Parámetros y punto P de impacto, extraída (Giani, 1992)..... | 23 |
| Figura 8. Trayectoria de la caída libre de un bloque. Tomado, Ramírez & Alejano (2004, pág. 469)..... | 24 |
| Figura 9. Movimientos que puede tomar una roca al desprenderse sobre un talud. Tomado de Ministerio de Fomento (1996) | 24 |
| Figura 10. Mapeo geomecánica, Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004, pág. 16)..... | 32 |
| Figura 11. Orientación de discontinuidades, Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004, pág. 10)..... | 32 |
| Figura 12. Espaciado de las discontinuidades, Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004, pág. 10) | 33 |
| Figura 13. Persistencia de discontinuidades, Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004, pág. 11) | 33 |
| Figura 14. Grado de aspereza de discontinuidades, Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004, pág. 11) | 34 |
| Figura 15. Apertura de una discontinuidad, Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004, pág. 12) | 34 |
| Figura 16. Apertura de una discontinuidad, Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004, pág. 12) | 35 |
| Figura 17. El agua puede lubricar las familias de discontinuidades y permitir que las piezas de rocas se muevan, Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004, pág. 49) | 35 |
| Figura 18. Métodos de protección contra caída de rocas (García, 2005, pág. 142) .. | 41 |
| Figura 19. Caballones de Tierra con Cunetas Colectoras del Lado de la Ladera, (García, 2005, p. 157) | 43 |
| Figura 20. Muros de concreto (García, 2005, p. 148) | 43 |
| Figura 21. Valla dinámica (García, 2005, p. 151) | 44 |
| Figura 22. Mapa de ubicación y localización del área de estudio. | 50 |

| | |
|--|----|
| Figura 23. Mapa geológico, obtenida del aplicativo GeoCatmin. | 55 |
| Figura 24. Vista del área de estudio. | 55 |
| Figura 25. Mapa de pendientes de la zona. | 56 |
| Figura 26. Mapa de peligros del cerro Aparinacu | 57 |
| Figura 27. Evidencias de masas rocosas desprendidas con presencia de depósitos coluviales. | 58 |
| Figura 28. Estado de los bloques sumamente alterada y fracturada, además se evidencia sectores con bloques sueltos. | 59 |
| Figura 29. Roca desprendida cercano a las intersecciones de la Av. Los Libertadores y Pje. Unión – Ascensión. | 60 |
| Figura 30. Roca que cayó dentro de una vivienda..... | 61 |
| Figura 31. Rocas caídas durante el evento de marzo del 2018. | 61 |
| Figura 32. Rocas caídas de diámetros entre 0.5m y 1.2m | 62 |
| Figura 33. Posible Trayectoria 1 de la Roca..... | 62 |
| Figura 34. Desplazamiento máximo de la Roca en la posible trayectoria 1. | 63 |
| Figura 35. Posible trayectoria A de la roca, asimismo se observa el rastro de las rocas desprendidas, por lo que es de suponer que esa es la trayectoria. | 63 |
| Figura 36. Rocas desprendidas años atrás y asentados. | 64 |
| Figura 37. Se muestra la Posible trayectoria 2, para la vivienda afectada por el desprendimiento de roca..... | 65 |
| Figura 38. Daño material que produjo la caída de rocas en el sector Ccollpayacu... 65 | 65 |
| Figura 39. Presencia de los fragmentos rocosos en el inicio de la trayectoria 3. | 66 |
| Figura 40. Rocas fragmentadas al inicio de la trayectoria 4..... | 67 |
| Figura 41. Bloques de rocas colgadas en la trayectoria 5..... | 67 |
| Figura 42. Árbol caído a consecuencia de desprendimiento de rocas..... | 68 |
| Figura 43. Deposición final de las rocas de las trayectorias 3,4 y 5. | 68 |
| Figura 44. Trayectoria B definida por antecedentes ocurridas. | 69 |
| Figura 45. Trayectoria 6 definido por pendientes fuertes..... | 70 |
| Figura 46. Bloque retenido por un árbol..... | 70 |
| Figura 47. Macizo rocoso colgado, a punto de desprenderse..... | 71 |
| Figura 48. Indicios de desprendimiento. | 72 |
| Figura 49. Depósitos coluviales, en las trayectorias 7 y 8..... | 72 |
| Figura 50. Roca desprendida décadas atrás. | 73 |
| Figura 51. Perfil de las trayectorias 7 y 8. | 74 |
| Figura 52. Trayectorias definidas para el análisis de posibles desprendimientos. | 74 |
| Figura 53. Demarcación de 4 puntos de control, en forma de cruz con yeso. Las cuales deben ser visibles para el dron, luego se procede a tomar las coordenadas UTM con el GPS. | 76 |
| Figura 54. Empezando con la misión de vuelo programado para el estudio..... | 76 |
| Figura 55. Rocas lanzadas, para el cálculo de los coeficientes restituciones..... | 80 |
| Figura 56. Zona de calibración de los coeficientes de restitución..... | 81 |
| Figura 57. Materiales utilizados..... | 81 |
| Figura 58. Vista panorámica del lugar de Prueba..... | 82 |
| Figura 59. Rocas de diferentes pesos. | 82 |

| | |
|---|----|
| Figura 60. Pesado de las rocas a lanzar..... | 82 |
| Figura 61. Lanzamiento de las rocas..... | 82 |
| Figura 62. Ubicación final de las rocas lanzadas..... | 83 |
| Figura 63. Perfiles de la zona de calibración..... | 83 |
| Figura 64. Configuración de proyecto..... | 88 |
| Figura 65. Modelado de caída de rocas T-1..... | 89 |
| Figura 66. Gráfica de la localización final de las rocas T-1..... | 89 |
| Figura 67. Gráfica de la energía cinética total T-1..... | 89 |
| Figura 68. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-1..... | 89 |
| Figura 69. Modelado de caída de rocas T-2..... | 90 |
| Figura 70. Gráfica de la localización final de las rocas T-2..... | 90 |
| Figura 71. Gráfica de la energía cinética total T-2..... | 90 |
| Figura 72. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-2..... | 90 |
| Figura 73. Modelado de caída de rocas T-3..... | 91 |
| Figura 74. Gráfica de la localización final de las rocas T-3..... | 91 |
| Figura 75. Gráfica de la energía cinética total T-3..... | 91 |
| Figura 76. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-3..... | 91 |
| Figura 77. Modelado de caída de rocas T-4..... | 92 |
| Figura 78. Gráfica de la localización final de las rocas T-4..... | 92 |
| Figura 79. Gráfica de la energía cinética total T-4..... | 92 |
| Figura 80. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-4..... | 92 |
| Figura 81. Modelado de caída de rocas T-5..... | 93 |
| Figura 82. Gráfica de la localización final de las rocas T-5..... | 93 |
| Figura 83. Gráfica de la energía cinética total T-5..... | 93 |
| Figura 84. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-5..... | 93 |
| Figura 85. Modelado de caída de rocas T-6..... | 94 |
| Figura 86. Gráfica de la localización final de las rocas T-6..... | 94 |
| Figura 87. Gráfica de la energía cinética total T-6..... | 94 |
| Figura 88. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-6..... | 94 |
| Figura 89. Modelado de caída de rocas T-7..... | 95 |
| Figura 90. Gráfica de la localización final de las rocas T-7..... | 95 |
| Figura 91. Gráfica de la energía cinética total T-7..... | 95 |
| Figura 92. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-7..... | 95 |
| Figura 93. Modelado de caída de rocas T-8..... | 96 |
| Figura 94. Gráfica de la localización final de las rocas T-8..... | 96 |
| Figura 95. Gráfica de la energía cinética total T-8..... | 96 |
| Figura 96. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-8..... | 96 |
| Figura 97. Modelado de caída de rocas T-A..... | 97 |
| Figura 98. Gráfica de la localización final de las rocas T-A..... | 97 |
| Figura 99. Gráfica de la energía cinética total T-A..... | 97 |
| Figura 100. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-A..... | 97 |
| Figura 101. Modelado de caída de rocas T-B..... | 98 |
| Figura 102. Gráfica de la localización final de las rocas T-B..... | 98 |
| Figura 103. Gráfica de la energía cinética total T-B..... | 98 |

| | | |
|--------------------|---|-----|
| Figura 104. | Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-B. | 98 |
| Figura 105. | Modelado de caída de rocas T-1. | 100 |
| Figura 106. | Gráfica de la localización final de las rocas T-1. | 100 |
| Figura 107. | Gráfica de la energía cinética total T-1. | 100 |
| Figura 108. | Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-1. | 100 |
| Figura 109. | Modelado de caída de rocas T-2. | 101 |
| Figura 110. | Gráfica de la localización final de las rocas T-2. | 101 |
| Figura 111. | Gráfica de la energía cinética total T-2. | 101 |
| Figura 112. | Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-2. | 101 |
| Figura 113. | Modelado de caída de rocas T-3. | 102 |
| Figura 114. | Gráfica de la localización final de las rocas T-3. | 102 |
| Figura 115. | Gráfica de la energía cinética total T-3. | 102 |
| Figura 116. | Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-3. | 102 |
| Figura 117. | Modelado de caída de rocas T-4. | 103 |
| Figura 118. | Gráfica de la localización final de las rocas T-4. | 103 |
| Figura 119. | Gráfica de la energía cinética total T-4. | 103 |
| Figura 120. | Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-4. | 103 |
| Figura 121. | Modelado de caída de rocas T-5. | 104 |
| Figura 122. | Gráfica de la localización final de las rocas T-5. | 104 |
| Figura 123. | Gráfica de la energía cinética total T-5. | 104 |
| Figura 124. | Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-5. | 104 |
| Figura 125. | Modelado de caída de rocas T-6. | 105 |
| Figura 126. | Gráfica de la localización final de las rocas T-6. | 105 |
| Figura 127. | Gráfica de la energía cinética total T-6. | 105 |
| Figura 128. | Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-6. | 105 |
| Figura 129. | Modelado de caída de rocas T-7. | 106 |
| Figura 130. | Gráfica de la localización final de las rocas T-7. | 106 |
| Figura 131. | Gráfica de la energía cinética total T-7. | 106 |
| Figura 132. | Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-7. | 106 |
| Figura 133. | Modelado de caída de rocas T-8. | 107 |
| Figura 134. | Gráfica de la localización final de las rocas T-8. | 107 |
| Figura 135. | Gráfica de la energía cinética total T-8. | 107 |
| Figura 136. | Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-8. | 107 |
| Figura 137. | Modelado de caída de rocas T-A. | 108 |
| Figura 138. | Gráfica de la localización final de las rocas T-A. | 108 |
| Figura 139. | Gráfica de la energía cinética total T-A. | 108 |
| Figura 140. | Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-A. ... | 108 |
| Figura 141. | Modelado de caída de rocas T-B. | 109 |
| Figura 142. | Gráfica de la localización final de las rocas T-B. | 109 |
| Figura 143. | Gráfica de la energía cinética total T-B. | 109 |
| Figura 144. | Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-B. ... | 109 |
| Figura 145. | Mapa de cartografía de bloques. | 112 |
| Figura 146. | Mapa de trayectorias con amenaza. | 113 |
| Figura 147. | Mapa de trayectorias con amenaza mitigado. | 114 |

| | |
|--|-----|
| Figura 148. Mapa de vulnerabilidad (Viviendas) | 115 |
| Figura 149. Mapa de riesgo (Amenaza x Vulnerabilidad) | 116 |
| Figura 150. Mapa con riesgo mitigado. | 117 |



Resumen

La presente investigación hace referencia al análisis y la predicción de riesgos por desprendimiento de rocas, en el que se plantea el siguiente objetivo: determinar los resultados de la validación del modelo y aplicación del modelamiento en el Software Rocfall, para elaborar el mapa que muestra las áreas de riesgos. Asimismo, se formula el problema general: ¿Cuáles son los resultados del análisis y predicción de riesgo por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión – Huancavelica? Para dar respuesta a lo mencionado, se efectuó las siguientes metodologías: recojo de información de campo con drone y mediante procesos fotogramétricos se obtuvo, la topografía del área de estudio; identificación de las áreas inestables, trayectorias, rastros de los desprendimientos anteriormente ocurridos y 05 estaciones geomecánicas. También se calculó el peso específico de 08 muestras de roca en laboratorio, el cual sirvió para la obtención del peso de los bloques de roca de gran magnitud. Además, se calibró los coeficientes de restitución normal y tangencial insitu; una vez obtenido todos estos datos se analizó con el software Rocfall los siguientes resultados máximos de las 10 trayectorias: distancia final alcanzada, altura de rebote, energía cinética y velocidad traslacional. Con estos valores se elabora los mapas de riesgo, teniendo en cuenta las áreas de vulnerabilidad de las viviendas y amenaza de las rocas, en la que serán afectadas 190 familias en el sector de Ccollpayacu. Finalmente, se propone la mitigación de estos riesgos de desprendimiento de rocas, con barreras dinámicas, el cual será de mucha importancia para los habitantes del sector y autoridades del distrito.

Palabras clave: Predicción de riesgos, desprendimiento de rocas, simulación de trayectoria.

Abstract

This research refers to the analysis and prediction of rockfall risks, in which the following objective is posed: to determine the results of the validation of the model and application of modeling in the Rocfall Software, to elaborate the map that shows the risk areas. Likewise, the general problem is formulated: What are the results of the analysis and prediction of rockfall risk in the Ascension - Huancavelica district? To respond to the aforementioned, the following methodologies were carried out: collection of field information with drone and by means of photogrammetric processes, the topography of the study area was obtained; identification of unstable areas, trajectories, traces of previously detached landslides and 05 geomechanical stations. The specific weight of 08 rock samples in the laboratory was also calculated, which served to obtain the weight of large-scale rock blocks. In addition, the normal and tangential restitution coefficients were calibrated; Once all these data were obtained, the following maximum results of the 10 trajectories were analyzed with the Rocfall software: final distance reached, bounce height, kinetic energy and translational speed. With these values, risk maps are prepared, taking into account the areas of vulnerability of housing and threat of rocks, in which 190 families will be affected in the Ccollpayacu sector. Finally, it is proposed to mitigate these risks of rockfall, with dynamic barriers, which will be very important for the inhabitants of the sector and district authorities.

Key words: Risk prediction, rockfall, trajectory simulation.

Introducción

Los desprendimientos de bloques de roca generalmente son una amenaza para las zonas urbanas asentadas a las faldas de los cerros, de acuerdo a su grado de riesgo, pueden ocasionar pérdidas de materiales, económicas y en casos extremos de vidas humanas. Además de ello existe un desinterés de las autoridades locales en prevenir este tipo de eventos, habiendo posibilidades tecnológicas, que pueden ser de gran ayuda en respuesta a este tipo de contingencias.

Los últimos acontecimientos suscitados por desprendimientos de rocas en el cerro Aparinacu, afectaron viviendas en el sector de Ccollpayacu, es por ello que nace el interés de hacer esta investigación titulada “Análisis y predicción de riesgos por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica”.

Esta investigación, se enfoca en determinar los resultados del análisis y predicción de riesgos por desprendimiento de rocas, estableciendo las trayectorias para realizar las modelaciones, mapa de riesgo y finalmente proponer una alternativa de solución, el cual será de mucha utilidad para este sector.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Según **Castro** (2014, pág. 21). En diversos lugares del mundo, los seres humanos, desde principios de su existencia, han estado expuesto a amenazas de peligros, entre naturales como antrópicos, muchas veces por su negligencia de su accionar, lo cual ha ocasionado pérdidas de vidas humanas y económicas, dejando muchas veces a familias con hogares inhabitables, lo que conlleva al atraso de una comunidad, región o país; debido a ello, es de carácter importante identificar zonas vulnerables a peligros y poder prevenir para disminuir sus efectos.

El territorio nacional cuenta con una geomorfología variable, lo cual lo hace vulnerable frente a riesgos de naturaleza antrópica o natural, a este se le suma la sobrepoblación en las zonas urbanas, lo que obliga a que muchas familias construyan sus viviendas cercanas a los cerros que están propensos a caída de rocas de las pendientes altas, esto sucede debido a la falta de asesoría técnica, sin tomar en cuenta los peligros a los que están expuestos ante una eventualidad como: intensas precipitaciones, movimiento de masas de suelos, desprendimiento de rocas, sismos y vientos intensos, etc.

El crecimiento urbanístico desordenado en la ciudad de Huancavelica, conlleva a la construcción informal de viviendas aledañas a los cerros, como es el caso del cerro Aparinacu en el distrito de Ascensión, donde se encuentran familias que habitan en zonas con alto grado de desprendimiento de rocas y desde muchos años atrás existen antecedentes de que las rocas que caen, afectan a viviendas y corren en riesgo la vida de muchas familias. Se viene evidenciando caída de rocas por desprendimiento debido a la inestabilidad del

cerro, esta situación se complica más aún porque no existe una evaluación de peligro de rocas, mucho menos de medidas de protección. Motivo por el cual es de carácter importante, realizar investigaciones para predecir el alcance que pueden tener la caída rocas y generar mapas de peligros y de zonas vulnerables.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son los resultados del análisis y predicción de riesgo por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión – Huancavelica?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles son los resultados del análisis y predicción de riesgo en el análisis de trayectorias por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica?
- b. ¿Cuáles son los resultados del análisis y predicción de riesgo con la validación del modelo Rocfall por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica?
- c. ¿Cuáles son los resultados del análisis y predicción de riesgo en el modelamiento con el software Rocfall por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar los resultados del análisis y predicción de riesgo por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión – Huancavelica.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Determinar los resultados del análisis y predicción de riesgo en el análisis de trayectorias por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión – Huancavelica.

- b. Determinar los resultados del análisis y predicción de riesgo con la validación del modelo Rocfall por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión – Huancavelica.
- c. Determinar los resultados del análisis y predicción riesgo en el modelamiento con el software Rocfall por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión – Huancavelica.

1.4. Justificación

En los últimos tiempos, el avance de la tecnología ha sido de gran importancia en muchos campos de la investigación, como el desarrollo de infinidad de softwares, su aplicación en las investigaciones es de mucho interés. En la presente investigación se realizará un análisis de las posibles trayectorias y alcances que puede tener un posible desprendimiento de rocas, el cual será de mucha ayuda para que las familias que están ubicadas cercano al cerro Aparinacu, conozcan y tomen decisiones adecuadas del peligro al que están expuestas. También se dará alcances de zonas críticas, frente a un posible evento a ocurrir e identificar las zonas de peligro y desarrollar mapas de riesgo, para la prevención.

De lo antes mencionado, esta investigación pretende predecir el riesgo por desprendimiento de rocas, aplicando software computacional Rocfall y así determinar las áreas de riesgo.

1.5. Limitaciones

A medida que se desarrolló la investigación, se encontró limitaciones, las cuales se mencionan a continuación:

- Falta de monitoreo permanente, datos históricos de eventos de desprendimiento, cantidad de rocas, dimensiones, las trayectorias, distancias máximas alcanzadas y familias afectadas.
- Falta de antecedentes locales en la zona de estudio, para la obtención de coeficientes de restitución (R_n y R_t).
- Esta investigación es limitada por el uso del modelo bidimensional del software Rocfall.
- Se nos limitó, a saber, el costo de las barreras dinámicas, ya que las empresas que brindan este tipo de servicios son discretos en dar a conocer esta información.
- Cálculo del peso exacto de las rocas en campo, que alcanzaron las máximas distancias de desprendimientos anteriores.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Azzoni, La Barbera, & Zaninetti, (1995), en el artículo científico *“Analysis and prediction of Rocfalls using a mathematical model”* consultado en el buscador electrónico **Sciencedirect**, trata sobre el estudio de saltos de roca utilizando un modelo matemático llamado CADMA, la cual permite realizar predicciones de caída y de los parámetros: energía, altura de rebote, distancia de salida de los bloques que caen. En la que llegaron a las conclusiones siguientes:

Utilizaron un modelo matemático computacional, para analizar y predecir las trayectorias de desprendimientos de rocas en dos pendientes diferentes, donde se habían realizado pruebas in situ, obteniendo:

- Velocidad y energía de traslación y rotación.
- Altura de rebote.
- Distancia de salida

Marinos, Tsiambaos, Saroglou, & Marinos, (2008) un estudio similar se realizó en la revista científica de título *“Rocfall hazard and risk for a high promontory: Monemvasia historical site, Greece”* en la que menciona que los tipos más relevantes de inestabilidad cinemática en el sitio histórico de Monemvasia – Grecia fueron: falla planar y derribo de bloques grandes, en la que plantearon un sistema de categorización de riesgo de desprendimiento de rocas enfocado a áreas individuales cercanos a la pendiente con riesgos altos. Llegando a las siguientes conclusiones:

- Se analizó la estabilidad de la pendiente rocosa del alta pendiente, tomando como referencia el análisis cinemático de bloques inestables y el cálculo de sus trayectorias de caída de rocas.

- La construcción de barreras de caída de rocas de resistencia alta no se puede obviar, debido al impacto de las rocas en las estructuras, o a la magnitud del tamaño de la falla, por lo que no es suficiente para una protección adecuada en su totalidad.

Valerio, (2012) en su investigación desarrollada en la Universidad Nacional Autónoma de México, cuyo título es *“Barreras dinámicas a base de materiales convencionales para el control de caídas de rocas”* afirma que las rocas que se desprenden pueden llegar al piedemonte en caída libre, dando saltos o rodando. Posiblemente la técnica de protección más eficiente frente a desprendimientos, es la construcción de zanjas o cunetas al pie del talud. La cuneta permite recolectar las rocas que caen evitando que se alejen del piedemonte. Estas cumplen con la función de absorber la energía al descender las rocas y por seguridad se integra con una barrera o pantalla para impedir que los fragmentos de roca puedan rebotar.

Rivero & Mayorga, (2013) en su tesis de investigación que lleva por título *“Evaluación cuantitativa de la vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos por caídas de roca”* aluden que se debe identificar los deslizamientos más propensos a ocurrir, esto coadyuvará a identificar el tipo de amenaza; por ello se debe calcular su volumen y área. Asimismo, localizar el deslizamiento y el diagnóstico de sus propiedades geomecánicas de los materiales existentes en el talud. La probabilidad de ocurrir un evento prepondrá un antes y después de una falla. Se debe estimar la velocidad, altura, trayectoria y distancia de recorrido de la roca para evaluar la posibilidad de afectación al área donde estén ubicados las zonas en riesgo.

Escamilla, (2014) realizó la tesis de posgrado de maestro en Ingeniería Geotécnica, en la Universidad Nacional Autónoma de México, con el siguiente título: *“Caída de fragmentos de roca y metodología para una adecuada modelación”* afirma que Rocfall es un software de análisis estadístico con la cual se realiza la evaluación de taludes con riesgo de caída de bloques de rocas. A través de este software se obtiene la energía, velocidad y altura de rebote

para cada trayectoria del perfil de ladera o talud. Rocfall también es útil en la determinación de medidas de mitigación, donde es posible analizar la ubicación de barras elásticas e inelásticas.

Almandalawi, You, Dowling, & Sabry, (2015) en su artículo científico *“Slope stability and Rocfall Hazard análisis in open pit zinc mine”* menciona que toman en cuenta el diseño geotécnico para anticiparse a las trayectorias y velocidades de desprendimientos de rocas que presentan un peligro residual en las minas. Para el análisis de riesgo de desprendimiento de rocas, usaron el software Rocfall incluyendo un sistema de protección, para la disminución de la energía de impacto de las rocas. Como resultado final muestran las posibles áreas de desprendimientos de rocas y la distancia máxima de alcance. Llegan a las siguientes conclusiones:

- Los desplomes de rocas son un peligro eminente en las minas a cielo abierto.
- Las rocas que se deslizan desde lo alto de una pendiente, pueden llegar fácilmente al piso de la fosa, incluso destruir la infraestructura de la mina y presentar un grave riesgo al personal.
- Las simulaciones realizadas mediante el software Rocfall, confirmaron el potencial de riesgo de desprendimiento de rocas individuales.
- El modelamiento muestra que es necesario ubicar una barrera al pie de la pendiente, para impedir o controlar parcialmente el paso de las rocas hacia la zona de operación de la mina.

Netti, Castelli, & De Biagi, (2016) desarrollaron la siguiente investigación titulada *“Effect of the number of simulations on the accuracy of a Rocfall análisis”* mencionan que se propondrá una metodología para relacionar el error esperado en los resultados del análisis y el número de simulaciones. Los resultados se elaboran estadísticamente a través del método Kolmogorov-Smirnov. También el estudio se realizó a través del código Rockyfor3D, que se inserta los parámetros de entrada detallados para las características del bloque (forma, volumen) y para las condiciones de la

pendiente (rugosidad, tipo de suelo, densidad y características de la vegetación), con el objetivo del análisis mismo (diseño de barreras y planificación de la tierra). Las conclusiones mencionadas son:

- Las acumulaciones permiten, por diferente número de simulaciones, definir la probabilidad de obtener un error inferior a un valor establecido en porcentaje o la probabilidad de obtener una variabilidad del parámetro inferior a un valor establecido. Cuando mayor sea el número de simulaciones esta muy cerca a obtener resultados confiables.

Mineo, Pappalardo, Mangiameli, Campolo, & Mussumeci, (2018) elaboraron la investigación *“Rocfall Analysis for Preliminary Hazard Assessment of the Cliff of Taormina Saracen Castle (Sicily)”* y aplicaron un enfoque cualitativo para la zonificación del peligro de caída de rocas, afirmando que el análisis cinemático revela patrones de falla en rocas inestables, las cuales están representadas por desprendimientos de tipo plana y/o cuña; asimismo, la simulación de desprendimiento de rocas potenciales permitió analizar el impacto y predecir la trayectoria y energía. Llegó a las siguientes conclusiones:

- El ajuste cinemático, junto con las características geomecánicas estudiadas en el campo, proporciona una comprensión confiable del estado de estabilidad del acantilado.
- Los resultados de la evaluación de riesgo por desprendimiento de rocas en evolución, presentados en mapas temáticos, pueden aplicarse para diseñar trabajos de mitigación adecuados.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Ewes, (2011) en su tesis *“Desprendimiento de rocas que generan accidentes fatales en la minería peruana”*. El tipo de investigación es correlacional, en la que llega a las siguientes conclusiones:

Conocer la geología permite tomar decisiones correctas sobre diferentes aspectos relacionados con las labores mineras, entre otras, se podrá establecer

la dirección en la cual se deben avanzar las excavaciones, el tamaño de las mismas, el tiempo de exposición abierta de la excavación, el tipo de sostenimiento a utilizar y el momento en que debe ser instalado.

- Los agentes desestabilizadores de las rocas que afectan las excavaciones subterráneas son las condiciones estructurales adversas, la falla de Yanashallash, la orientación de los estratos, discontinuidades, rocas alteradas, meteorizadas y agua subterránea. Estos factores influyen y condicionan la determinación del diseño de las labores mineras y para la explotación ya sea en las dimensiones, el tipo de soporte, el método de excavación y el drenaje.

Pardo, (2014) realizó la tesis, en la Universidad Nacional de Ingeniería, titulada *“Prevención de caída de rocas como medida de seguridad en Mina San Cristóbal”*, en la que menciona que en los últimos decadas se incrementó el índice de accidentes por desprendimiento de rocas, representando el 32% del total de accidentes en la explotación minera nacional de los últimos 13 años. Hoy en día, con la ayuda de la ingeniería de la mecánica de rocas, podemos anticiparnos al comportamiento del macizo rocoso, realizando la caracterización geotécnica correspondiente. Llegan a las conclusiones siguientes:

- Los orígenes de las causas de accidentes por caída de rocas son producidas en su mayoría, por la escasa vigilancia de las labores más críticas y la insuficiente voluntad de tomar medidas preventivas antes que las correctivas ante eminentes y potenciales riesgos.
- Definitivamente el IPERC (Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos y Control) es una herramienta de gestión que constituye un instrumento inseparable del personal.

2.1.3. Antecedentes locales

Luza & Sosa (2016) elaboraron el informe técnico N° A6702, cuyo título es denominado *“Caída de rocas en el sector de Huamatambo”*, en la que según

los pobladores los desprendimiento de rocas son constantes a partir del evento del terremoto ocurrido en Pisco, 2007, el día 6 de abril del 2015 se desprendieron bloques de roca llegando al poblado de Huamatambo, desplazándose bloques de hasta 3 m de diámetro, afectando la losa deportiva y tramos de la carretera de Huamatambo – Yllapaza y Pariancancha – Yanaranra. Llegan a las conclusiones:

- Las principales causas son la pendiente elevada de la ladera del cerro Huamatambo (promedio 34°) y fracturamiento abierto, permitiendo que se desplacen los bloques a cuesta abajo.
- El poblado de Huamatambo ha presentado desprendimientos de rocas décadas atrás, siendo el evento ocurrido el 6 de abril de mayor intensidad.
- En base a la topografía de Huamatambo y considerando un ángulo empírico mínimo de sombra de 27.5° ; como también los resultados del análisis para nuevas caídas de rocas, efectuados con el software Rocfall 2.0, se infiere que las viviendas, área de cultivo y el estadio de Huamatambo pueden ser afectadas ante una nueva caída de rocas.
- La zona de Huamatambo se considera muy alto de peligro, por lo que es inminente el peligro.



Figura 1. Bloques de roca de 2 a 3m de diámetro caídos dentro del estadio del poblado de Huamatambo (Luza & Sosa, 2016, págs. 14,15)

Gómez & Albinez (2018) realizaron el informe técnico N° A6854, que lleva por título *“Caída de rocas del cerro Aparinacu, sector La Quinta Boliviana”*, en la que realizaron los siguientes trabajos: recopilación de información y preparación de mapas para trabajos de campo, toma de datos fotográficos, GPS y cartografiado de la zona, con el fin de ejecutar una medida de mitigación y reducción del riesgo. Estos autores concluyen que:

- Geomorfológicamente el barrio La Quinta Boliviana, se encuentra emplazado sobre terrazas aluviales y depósitos coluvio deluviales, al pie del cerro Aparinacu.
- La saturación de suelos aumenta en períodos de lluvias. Estas generan meteorización y desmovilización de depósitos coluviales de las empinadas pendientes del cerro Aparinacu.
- En la simulación de caída de rocas, utilizando el software Rocfall-Rocscience, se consideró bloques de roca de peso comprendidos entre 50 y 100 kg y con una pendiente de ladera mayor a 45°, para los dos escenarios generados obteniendo los siguientes resultados:
 - a. Para laderas formadas por roca con suelo y cobertura vegetal, alcanzó un recorrido máximo de 270m.
 - b. Ladera sin cobertura vegetal, alcanzó una distancia de 320m desde el punto de inicio.
- Las viviendas ubicadas al pie de la ladera de cerro Aparinacu, son consideradas como zona crítica, de muy peligro a eventos por movimientos en masa. Por lo que se encuentra en peligro inminente ante la presencia de lluvias intensas y/o excepcionales y sismos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Análisis y predicción de riesgos

Duzgun & Lacasse, (2005) indicaron que dos aspectos importantes de la evaluación cuantitativa del riesgo de deslizamiento de roca, son la vulnerabilidad y el riesgo aceptable, estos forman parte del estudio de un nuevo Marco de Evaluación de Riesgo Integrado (**IRAF** sus siglas en inglés). IRAF considera cuatro procesos: recopilación de datos, evaluación de peligros, evaluación de vulnerabilidad y evaluación de riesgos. Con la recopilación de antecedentes se obtiene los datos adecuados para las evaluaciones de peligros, vulnerabilidades y riesgos. El componente riesgo integra los análisis numéricos y probabilísticos para explotar la comprensión de los dos enfoques. Se formula un nuevo marco tridimensional para la cuantificación de la vulnerabilidad. El cuarto componente de IRAF es la estimación del riesgo, con el cálculo y la evaluación del riesgo en función de criterios de aceptabilidad. IRAF se implementa para pendientes rocosas. Para definir un criterio de aceptabilidad, se recopilaron los datos publicados. (p.2)

Tabla 1. Varias definiciones de riesgo por deslizamientos, Duzgun & Lacasse (2005, p. 5)

| | Formulación de riesgo | Definición | Fuente |
|--|--|---|-----------------|
| Nivel de generalización en la definición de riesgo | Riesgo = Amenaza x Consecuencias | Consecuencias: valores potenciales de pérdidas | Einstein (1988) |
| | $R_s = H \times V$ | R_s : Riesgo específico, H: Amenaza, | Varnes (1984) |
| | $R_t = R_s \times E = (H \times V) \times E$ | V: Vulnerabilidad R_t : Riesgo total, E: Elementos en riesgo | |
| | $R_t = \sum(R_s \times E) = \sum(H \times V \times E)$ | R_t : Riesgo total, R_s : Riesgo específico, | Fell (1994) |
| | $R_s = P(H_i) \times \sum(E \times V \times E_x)$ | R_s : Riesgo específico, R_t : Riesgo total, | Lee y Jones |
| | $R_t = \sum R_s(\text{Deslizamiento } 1, \dots, n)$ | $P(H_i)$: Amenaza de un deslizamiento de magnitud | 2004 |

| | | |
|--|--|-------------------|
| | particular (Hi), | |
| | E: Valor total de los elementos en riesgo, | |
| | V: Vulnerabilidad, Ex: exposición | |
| $R(DI) = P(H) \times P(S\backslash H) \times P(T\backslash S) \times P(L\backslash T)$ | R (DI): Riesgo individual, P(H): Amenaza, | Morgan et al 1992 |
| | P(S\H): Probabilidad de impacto espacial, | |
| | P(T\S): Probabilidad de impacto temporal, | |
| | P(L\T): Probabilidad de pérdida de la vida de un individuo. | |
| $R(PD) = P(H) \times P(S\backslash H) \times V(P\backslash S) \times E$ | R(PD): Riesgo específico (propiedad), | Dai et al 2002 |
| | P(H): Amenaza, | |
| | P(S\H): Probabilidad de que el deslizamiento impacte la propiedad. | |
| | V(P\S): Vulnerabilidad, E: Valor de la propiedad | |

(Lee & Jones, 2004): El riesgo es el resultado de la amenaza y la vulnerabilidad, ya que se ve alterado por la probabilidad de ocurrencia y consecuencias, la cual se muestra en la figura N°2.

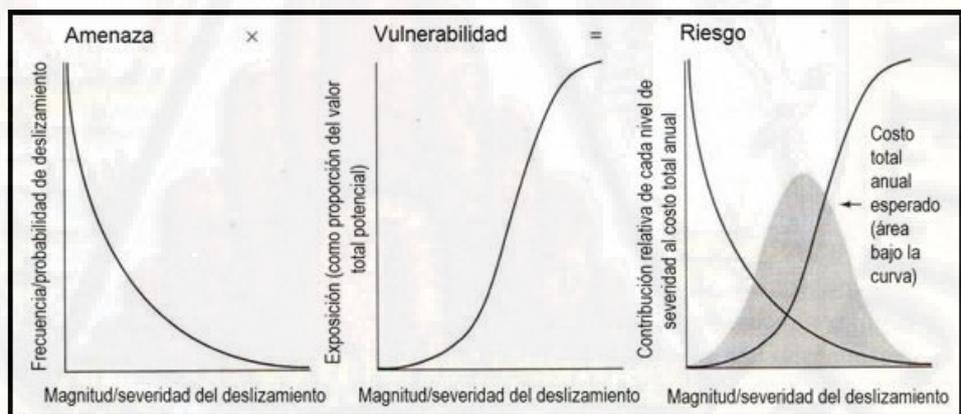


Figura 2. Representación del riesgo, como resultado de la amenaza y la vulnerabilidad (Lee & Jones, 2004)

Arango, (2014): Alude que, para predecir el riesgo, una vez identificada la amenaza, es indispensable determinar la vulnerabilidad, lo que equivale al grado de pérdida potencial, causado por un hecho de fenómeno natural de una magnitud determinada, sobre un conjunto de elementos. Además, se puede

inferir como el grado de pérdida indicada en un nivel de (0 - ningún daño) y (1 pérdida total), como efecto de un fenómeno potencialmente perjudicial (pp.83-84).

Para el **Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres**, (2014) evaluar el peligro es estimar o valorar la ocurrencia de un fenómeno con base en el estudio de su mecanismo generador. (pág. 27).

(**Quaas, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2009, ¶.3)**) afirma que es indispensable evaluar y luego disminuir la condición de riesgo que los provoca. Es allí precisamente en donde las nuevas tecnologías asociadas a la integración de información geoespacial cobran una gran importancia. Definitivamente, no se puede pensar en una efectiva gestión del riesgo, sin utilizar estas herramientas y bases de información que hoy están a nuestro alcance.

Riesgo y sus componentes: Según (**Quaas, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2010)**)

$$Riesgo = f(Peligro * Exposición * Vulnerabilidad)$$

- **Peligro**
Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino en un lapso dado.
- **Exposición – percepción del riesgo**
Cantidad de personas, bienes, valores, infraestructura y sistemas que son susceptibles a ser dañados o perdidos [\$ o vidas].
- **Vulnerabilidad**
Susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados.

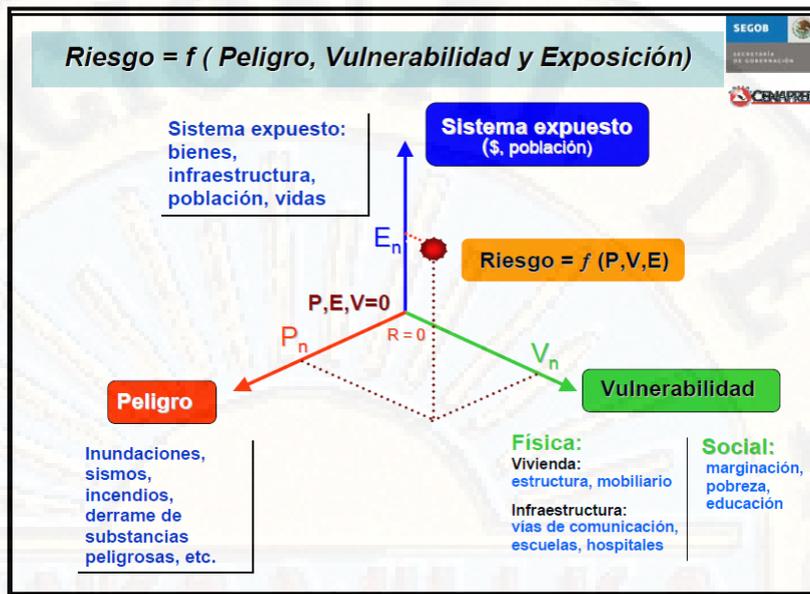


Figura 3. Riesgo y sus componentes según: **Quaas, Gurza, & Zepeda, (2009)** División de Estadística de las Naciones Unidas

Según el **Instituto Nacional de Defensa Civil**, (2006, págs. 12-25) en el **“Manual Básico Para la Estimación del Riesgo”** es el conjunto de acciones y procedimientos que se realizan en un determinado centro poblado o área geográfica, a fin de levantar información sobre la identificación de los peligros naturales y/o tecnológicos y el análisis de las condiciones de vulnerabilidad, para determinar o calcular el riesgo esperado.

La cual establece que el riesgo puede expresarse como:

$$R = (P \times V)$$

Dónde:

$$R(\text{Riesgo}) = P(\text{Peligro}) * V(\text{Vulnerabilidad})$$

- **Peligro**

Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por la actividad del hombre, potencialmente dañino, de una magnitud dada, en una zona o localidad conocida, que puede afectar un área poblada.

- **Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad, es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada.

2.2.2. Desprendimiento de rocas

La caída de rocas es inducida por la falta de apoyo, sumándose a la falta de terreno en taludes pronunciadas y causar desplomes de las columnas rocosas en un acantilado, debido principalmente a la erosión.

Lara, (2016): Muchas veces los desprendimientos de rocas son originados, como patología constructiva, en muchas laderas, taludes, ellos se presencian como en obras de transporte terrestre, vías férreas, etc. ocasionando graves daños a infraestructuras, bienes o personas aledañas a los cerros; razón por la cual es indispensable un estudio por especialistas del tema en ámbito ingenieril.

Las medidas de protección generalmente son de carácter estructural como: mallas y barreras mecánicas, los cuales pueden disminuir la energía cinética de la roca desprendido. Además de ellos, existen otras alternativas de protección de carácter no estructural, como son mapas temáticos de riesgo, que permiten informar los peligros eminentes. (pp. 7-8)

García, (2005, págs. 104-108) menciona que en la actualidad el software Rocfall facilita los cálculos en desprendimientos de rocas; para ello es necesario ingresar los parámetros siguientes:

- **Perfil de contacto:** la secuencia a seguir para la determinación del perfil topográfico de la ladera abajo. La topografía del perfil se puede representar de forma aproximada por la unión de varios segmentos.
- **Velocidad inicial:** valor comprendido entre 1 a 3m/s, según estudios científicos.
- **Velocidad Angular:** Rocfall sugiere considerar la velocidad angular para la modelación de desprendimientos de rocas, con el fin de obtener resultados más realistas, debido a ensayos ejecutados durante la codificación del software Rocfall, definiendo velocidades iniciales iguales a cero con una roca imaginaria de geometría esférica.

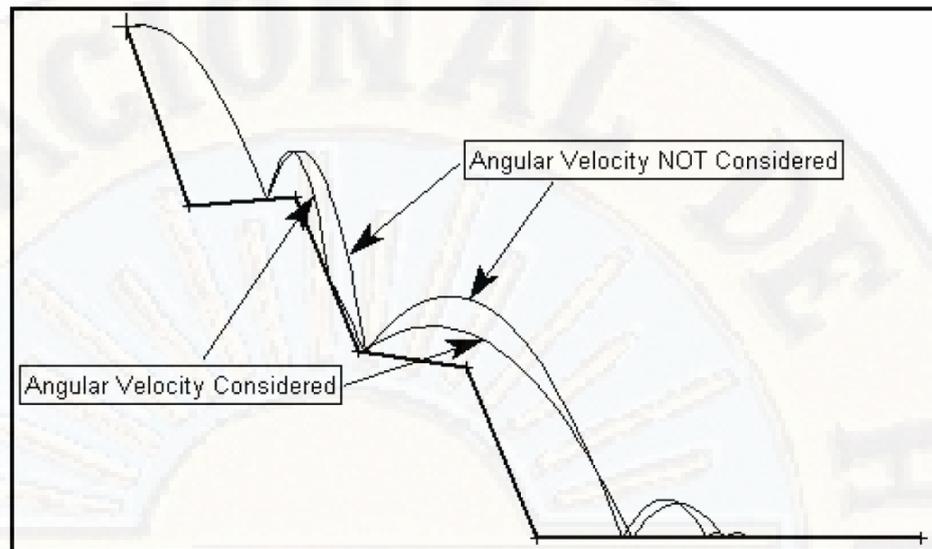


Figura 4. Efecto de considerar la velocidad angular (*Rocscience, 2003, pág. 3*)

- Tamaño y forma de la roca:** estas características de la roca, dependen de la dimensión de los bloques en el lugar y de la durabilidad, varios ensayos señalan que desprendimientos de más de 8-10 m de altitud, pueden inducir a la fractura de la roca en fragmentos. Así, las rocas encontradas en el piedemonte son señales del tamaño y forma que pueden caer; en caso de no haber indicios en el piedemonte, se determinará la forma y el tamaño en la zona de origen. En el recojo de información de campo, es factible identificar la forma del bloque; generalmente se tiene en cuenta el caso más crítico, es por ello que se optan con formas esféricas, porque aportan mayor inercia. Se debe tener presente que el caso más desfavorable que podría ocurrir, es cuando la roca más grande llegue intacta al piedemonte.

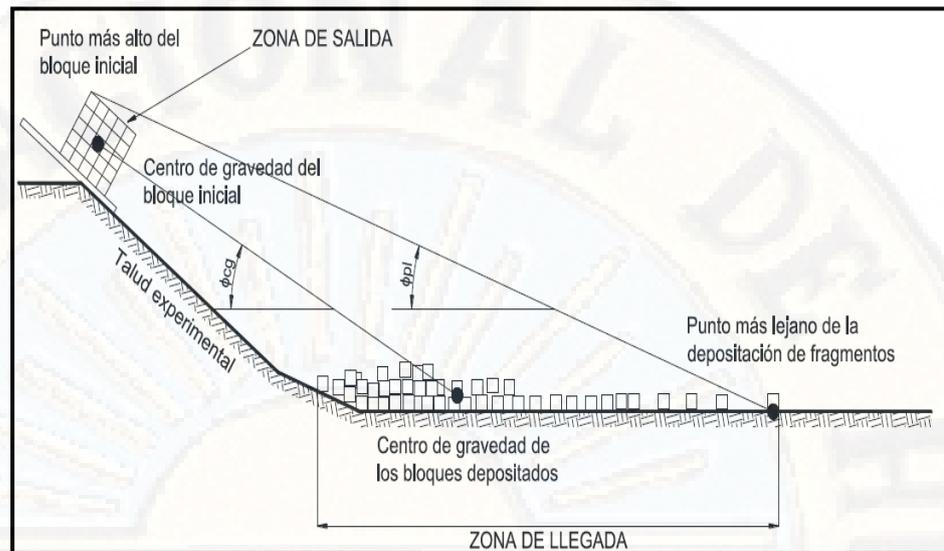


Figura 5. Identificación de las zonas de salida y llegada después del desprendimiento rocoso. Adaptado de (Okura, Kitahara, Sammori, & Kawanami, 2000, p. 112)

- **Rugosidad:** es un valor que está en función de la dimensión de la roca y la complejidad del perfil de contacto. Si los taludes fueran lisos y las rocas perfectamente esféricas, entonces la rodadura podría ser modelada con mucha precisión; pero estos escenarios nunca se muestran en campo. Muchos de los taludes son variables e irregulares con afloramientos de rocas, que inciden en la trayectoria de la caída tales como: saltos, rodadura o deslizamiento; además está relacionado con el diámetro y forma de la caída de la roca. En seguida se muestra la tabla del rango de valores de rugosidad, según la literatura científica, para varias condiciones de terreno.

Tabla 2. Rugosidad y Coeficientes de Restitución Tangencial y Normal. Tomado de (García, 2005, p. 125)

| SUPERFICIE O MATERIAL | Rugosidad r | Coficiente Normal r_n | Coficiente Tangencial r_t | Referencia |
|---|---------------|-------------------------|-----------------------------|---|
| Afloramiento de roca dura con bolones y bloques | | 0.35 | 0.85 | Hoek (1987) |
| Caliza | 0.75-0.90 | 0.25 a 0.38 | 0.60 a 0.83 | Robotahm et al. (1995). Azzoni et al. (1995) |

| | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Caliza con algo de vegetación | 0.22 a 0.38 | 0.44 a 0.73 | Robotahm et al. (1995). | |
| Caliza dinamitada sin remover | 0.25 a 0.38 | 0.60 a 0.83 | Robotahm et al. (1995). | |
| Caliza dinamitada y apilada con algo de vegetación | 0.22 a 0.28 | 0.35 a 0.83 | Robotahm et al. (1995). | |
| Creta (chalk) | 0.20 a 0.36 | 0.75 a 0.92 | Robotahm et al. (1995). | |
| Creta (chalk) con algo de vegetación | 0.25 a 0.29 | 0.51 a 0.68 | Robotahm et al. (1995). | |
| Carpeta de asfalto | 0.4 | 0.9 | Hoek (1987) | |
| Cubierta de talus | 0.32 | 0.82 | Hoek (1987) | |
| Cubierta de talus con vegetación | 0.32 | 0.8 | Hoek (1987) | |
| Detritos blandos | 0.35 a 0.45 | | Azzoni et al. (1995) | |
| Detritos compactados con bolones | 0.55 a 0.60 | 0.40 a 0.50 | 0.35 a 0.45 | Pasquero (1987). Azzoni et al. (1995) |
| Detritos con bolones y bloques | 0.45 a 0.50 | 0.50 a 0.80 | 0.45 a 0.65 | Pasquero (1987). Azzoni et al. (1995) |
| Detritus bolones, bloques y algunos árboles | 0.40 a 0.50 | | | Azzoni et al. (1995) |
| Detritus gruesos con bloques de roca | 0.55 a 0.70 | | | Azzoni et al. (1995) |
| Impacto roca-roca | 0.75 a 0.80 | | | Pasquero (1987). |
| Impacto roca-suelo | 0.20 a 0.35 | | | Pasquero (1987). |
| Pavimento | 0.75 | | | Azzoni et al. (1995) |
| Roca dura limpia | 0.53 | 0.99 | | Hoek (1987) |
| Roca solida | 0.90 a 0.80 | 0.65 a 0.75 | | Pasquero (1987) |
| Suelo blando con algo de vegetación | 0.3 | 0.8 | | Hoek (1987) |

| | | | | |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------------|
| Suelo con pasto y vegetación | 0.50 a 0.60 | | | Azzoni et al. (1995) |
| Suelo compacto | 0.50 a 0.65 | | | Azzoni et al. (1995) |
| Taludes cubiertos de pasto | | 0.20 a 0.40 | 0.35 a 0.45 | Pasquero (1987) |
| Taludes en Italia | 0.75 a 0.80 | | | Habib (1976) |
| Taludes en Noruega | 0.50 a 0.60 | | | Habib (1976) |
| Taludes en Viñedos | 0.4 | | | Descoedres & Zimmermann (1988) |
| Taludes rocosos | 0.85 | | | Descoedres & Zimmermann (1988) |

- **Coefficiente de restitución:** expresa la cantidad de energía disipada cuando ocurre el impacto. La disipación dependerá del comportamiento elasto-plástico de la ladera en que la roca impacta, el material del bloque y la resistencia a la rodadura y al deslizamiento.

a. Coeficientes de restitución tangencial (Rt)

Determina qué cantidad de mecanismo de velocidad paralela al talud, disminuye en el transcurso del impacto. Asimismo, describe las características de la superficie (suelo y la cobertura vegetal), los cuales afectan al comportamiento de desprendimiento de rocas por su disminución de energía y su puesta en reposo.

b. Coeficientes de restitución normal (Rn)

Se entiende que es una medida del cambio de la velocidad normal a la ladera antes del impacto. También identifica la dureza de la superficie de la roca y perfil de contacto. Un perfil rocoso con ausencia de vegetación causaría grandes saltos, mientras que una cobertura de suelo y vegetación, absorbería una gran cantidad de energía y así amortizará el desprendimiento.

Escamilla, (2014): menciona que el ángulo límite, es un factor que precisa el instante a partir del cual la roca cambia de una fase estática a una fase de rodadura – deslizamiento, de una fase de rodadura - deslizamiento a otro de rebote – caída libre.

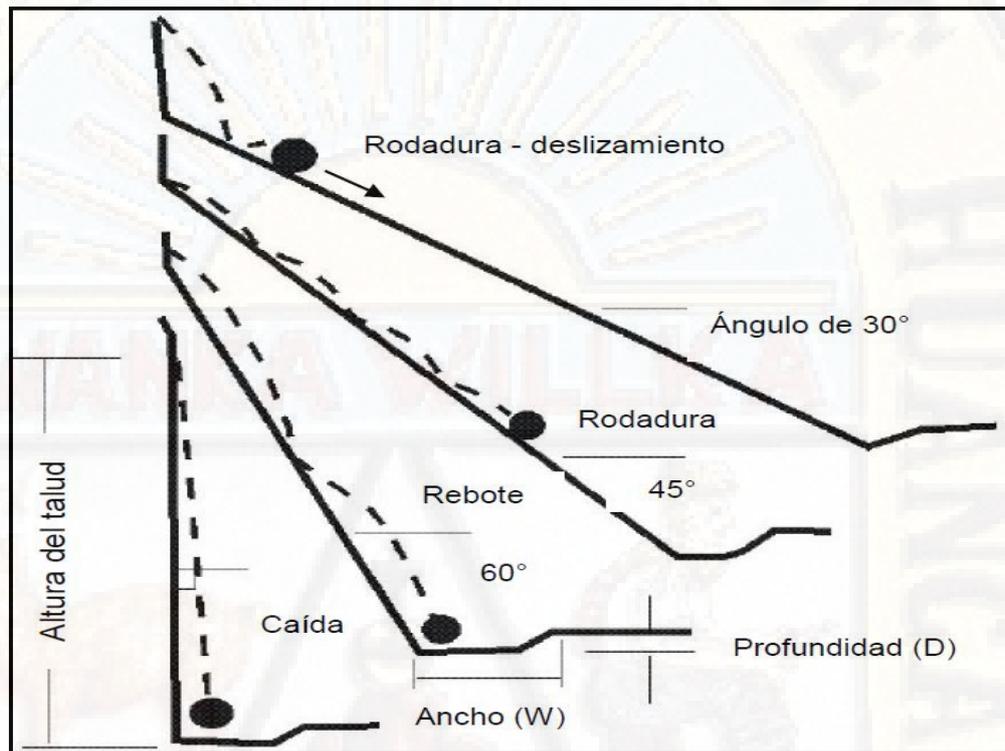


Figura 6. Comportamiento de los bloques rocosos entre diferentes ángulos límites. Tomado de Pierson, Gullixson, & Chassie (2001, p. 1)

Según **Hungr & Evans**, (1989), citado por **Ramírez & Alejano** (2004), menciona que los desprendimientos de rocas son un riesgo considerable en las explotaciones mineras a cielo abierto, en carreteras, autopistas y poblaciones que habitan en las laderas de los cerros o montaña.

El costo que puede ocasionar los desprendimientos de rocas es menor a los que puede causar las inestabilidades de talud, pero no por ello se debe menospreciar este fenómeno ya que las pérdidas humanas en ambos casos tienen el mismo orden de magnitud.

2.2.3. Análisis de los movimientos de rocas desprendidas

Según **Ramírez & Alejano** (2004), para poder analizar este tipo de desprendimientos, se debe considerar los cuatro modos de movimiento que a continuación se describen:

- **Caída libre:** el movimiento de caída libre de una roca, se detalla favorablemente por la ecuación de una parábola, donde no se tendrá en cuenta la fricción del aire por no influir significativamente. En seguida se muestra las fórmulas que rigen el movimiento del bloque (**Giani, 1992**).

Tabla 3. Ecuaciones de caída libre

| Aceleración | Velocidad | Desplazamiento |
|-----------------|---------------------------------|--|
| $\ddot{x} = 0$ | $\dot{x} = V_{ox}$ | $x = V_{ox}t + x_0$ |
| $\ddot{y} = -g$ | $\dot{y} = -g \cdot t + V_{oy}$ | $y = -0.5g \cdot t + V_{oy} \cdot t + y_0$ |

El punto de impacto se halla por la intersección entre la fórmula de la parábola y los segmentos del talud. Las coordenadas “x” e “y” en el punto P, se hallan de la siguiente manera:

$$y = -\frac{1}{2}g \frac{(x - x_0)^2}{V_{ox}^2} + V_{oy} \frac{(x - x_0)}{V_{ox}} + y_0$$

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

Donde, según muestra la Figura N° 8:

- V_{ox} , y V_{oy} Vienen a ser los componentes de la velocidad inicial en el punto P_0 (inicio del desplazamiento y trayectoria) en los ejes coordenados,
- x_1 , y_1 Coordenadas de origen del segmento donde sucede el impacto,
- x_2 , y_2 Coordenadas finales del segmento antes mencionado y
- x_0 , y_0 Coordenadas del inicio.

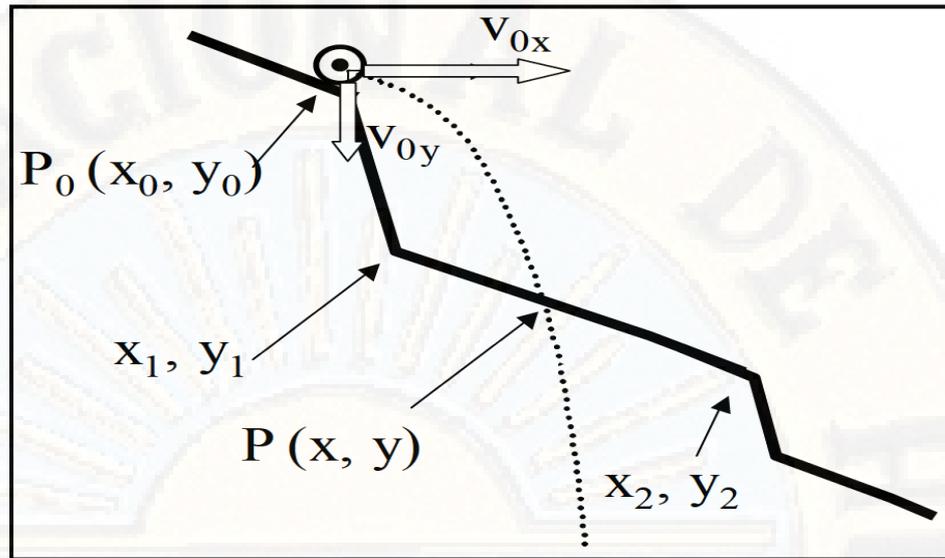


Figura 7. Trayectoria de la caída libre de un bloque. Parámetros y punto P de impacto, extraída (Giani, 1992)

- **Rebote:** está regido por un coeficiente de restitución, asimismo, expresa la cantidad de energía perdida en el impacto. Generalmente el parámetro importante que interviene en el fenómeno del rebote, es el coeficiente de restitución. El cual está definido por parámetros en cada una de las direcciones normal y tangencial a la superficie de rodadura. Según este concepto, los coeficientes de restitución normal y tangencial (R_n y R_t), vienen dados por:

$$R_n = \frac{v_{nr}}{v_{ni}} \quad \text{y} \quad R_t = \frac{v_{tr}}{v_{ti}}$$

Donde:

v_{nr} y v_{ni} = Son los componentes normales de rebote e impacto.

v_{tr} y v_{ti} = Son los componentes tangenciales de rebote e impacto.

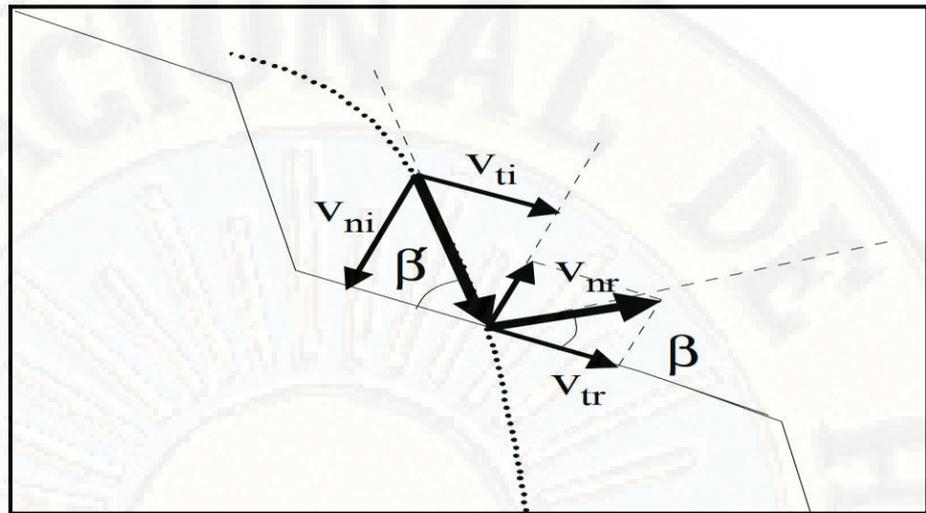


Figura 8. Trayectoria de la caída libre de un bloque. Tomado, Ramírez & Alejano (2004, pág. 469)

- **Rodadura y deslizamiento:**

La velocidad final de un bloque de una roca que rueda o se desliza, en un plano inclinado, se obtiene haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot (\text{sen} \alpha - \text{tg} \theta \cdot \text{cos} \alpha) \cdot l}$$

Donde:

g = Aceleración de la gravedad,

θ = El ángulo de fricción por rodadura o deslizamiento,

l = La longitud del segmento y

α = El ángulo de inclinación del segmento el que se desliza la roca.

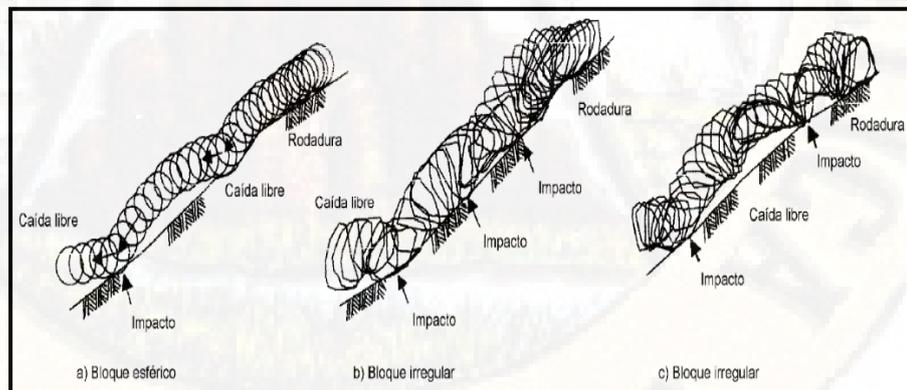


Figura 9. Movimientos que puede tomar una roca al desprenderse sobre un talud. Tomado de Ministerio de Fomento (1996)

Según: Álvarez & Moral (2018) detallan:

- **Coefficientes de restitución energética**

La magnitud del rebote viene definida por los coeficientes de restitución energética, los cuales indican la cantidad de energía conservada tras el impacto o lo que es lo mismo, la energía no disipada.

La velocidad tras el impacto es proporcional a la velocidad que tenía el bloque inicialmente, siendo el coeficiente de proporcionalidad el coeficiente de restitución energética.

- **El coeficiente de restitución normal R_n**

Explica la relación entre las velocidades normales a la ladera antes y después del impacto. Viene determinado por la rigidez de la superficie de la ladera, cuanto más desfavorable sea el material, menor será su coeficiente de restitución normal.

- **El coeficiente de restitución tangencial R_t**

Explica la relación entre las velocidades paralelas a la ladera antes y después del impacto. La vegetación y en menor grado, el material de la ladera, influyen en el coeficiente tangencial.

2.2.4. Fundamentos teóricos en el análisis de caída de fragmentos de roca

Para (Warren, 1998), autor del software Rocfall, afirma: Que se emplea análisis de partículas para hallar la trayectoria de la roca. Existen tres partes distintas en este análisis: los algoritmos de partículas, proyectil y deslizamiento. (pp.13-14)

- **Algoritmo de partículas:** define que todos los parámetros de modelación sean correctos, determina las condiciones iniciales con antelación para los algoritmos de proyectil y deslizamiento, luego inicia el algoritmo del proyectil.
- **Algoritmo de proyectil:** usado para hallar el movimiento de la roca, cuando la roca recorre por el aire, rebotando de un punto en la pendiente a otro.
- **Algoritmo de deslizamiento:** utilizado para hallar el movimiento de la roca mientras la roca está en contacto con la superficie de deslizamiento.

En seguida, se detallan las ecuaciones usadas en la programación de

Rocfall:

El uso de la ecuación en forma paramétrica es favorable, porque la trayectoria parabólica de la roca puede intersectar múltiples segmentos de pendiente, barreras, y debe calcularse el orden de intersección.

Algoritmo de proyectil

Las ecuaciones utilizadas para los cálculos de proyectiles se enumeran a continuación:

La ecuación paramétrica para una línea:

$$x = X_1 + (X_2 - X_1)u \quad (1)$$

$$y = y_1 + (y_2 - y_1)u \quad u \in [0,1] \quad (2)$$

Donde:

X_1, Y_1 : es el primer punto final de la línea.

X_2, Y_2 : es el segundo punto final de la línea.

La ecuación paramétrica para una parábola:

$$x = V_{X0}t + X_0 \quad (3)$$

$$y = \frac{1}{2}gt^2 + V_{Y0}t + Y_0 \quad t \in [0, \infty] \quad (4)$$

Donde:

g : es la aceleración de la gravedad (el signo es negativo)

X_0, Y_0 : es la posición inicial de la roca

V_{X0}, V_{Y0} : es la velocidad inicial de la roca

Las ecuaciones paramétricas para la velocidad de la partícula:

$$V_{XB} = V_{X0} \quad (5)$$

$$V_{YB} = V_{Y0} + gt \quad (6)$$

Donde:

V_{XB}, V_{YB} : es la velocidad de la roca en un punto cualquiera del recorrido del movimiento parabólico, antes del impacto.

Al igualar los puntos de la parábola y las ecuaciones de línea (es decir, $x = x$ y $y = y$) y reorganizando de forma: $ax^2 + bx + c = 0$, se obtiene:

$$\left[\frac{1}{2}g\right]t^2 + [V_{Y0} - qV_{X0}]t + [Y_0 - Y_1 + q(X_1 - X_0)] = 0 \quad (7)$$

Dónde:

$$q = \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)} : \text{es la pendiente del segmento de la línea} \quad (8)$$

La ecuación 7 se resuelve para t , usando la ecuación cuadrática:

$$t = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (9)$$

Dónde:

$$a = \frac{1}{2}g \quad (10)$$

$$b = V_{Y0} - qV_{X0} \quad (11)$$

$$c = Y_0 + Y_1 + q(X_1 - X_0) \quad (12)$$

En cada paso, a través del algoritmo, la parábola que se forma por la trayectoria de la roca se verifica con cada segmento de la pendiente y con cada barrera. Todos los segmentos de pendiente y las barreras que tienen una intersección válida con la parábola, se introducen en una lista. La lista se cataloga según el valor del parámetro t , para hallar la intersección correcta.

Una vez que se halla la intersección adecuada, la velocidad antes del impacto se calcula de acuerdo con las ecuaciones 5 y 6. Estas velocidades se convierten en componentes normales y tangenciales a la pendiente de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V_{NB} = (V_{YB}) \cos(\theta) - (V_{XB}) \sin(\theta) \quad (13)$$

$$V_{TB} = (V_{YB}) \sin(\theta) - (V_{XB}) \cos(\theta) \quad (14)$$

V_{NB} , V_{TB} : son los componentes de velocidad de la roca, antes del impacto, en las direcciones normal y tangencial, respectivamente θ es la pendiente del segmento de línea.

El impacto se calcula utilizando los coeficientes de restitución, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V_{NA} = R_N V_{NB} \quad (15)$$

$$V_{TA} = R_T V_{TB} \quad (16)$$

Donde:

RN: es el coeficiente de restitución normal $\in [0,1]$

RT: es el coeficiente de restitución tangencial $\in [0,1]$

V_{NA} , V_{TA} : son los componentes de velocidad de la roca, después del impacto, en las direcciones normal y tangencial, respectivamente

Las velocidades posteriores al impacto se transforman de nuevo en componentes horizontales y verticales de acuerdo con:

$$V_{XA} = (V_{NA}) \sin(\theta) + (V_{TA}) \cos(\theta) \quad (17)$$

$$V_{YA} = (V_{TA}) \sin(\theta) - (V_{NA}) \cos(\theta) \quad (18)$$

Dónde:

V_{XA} , V_{YA} : son los componentes de velocidad de la roca, después del impacto, en los ejes horizontal y vertical, respectivamente

Una vez calculada la intersección correcta y las velocidades, se corrobora la intersección de todos los recolectores de datos con la parábola (de una manera análogo a la verificación de los segmentos de pendiente). Cualquier recolector de datos con un valor paramétrico (el valor de t) menor que el valor de la intersección real, es deducido de la trayectoria de la roca. La ubicación, la velocidad y la energía cinética de la roca, en el momento en que pasa el recolector de datos, son registradas y mostradas.

La velocidad de la roca es hallada y comparada con V_{MIN} . Si es mayor que V_{MIN} , el proceso comienza de nuevo, con la búsqueda del siguiente punto de intersección. Si la velocidad es menor que la de V_{MIN} , la roca ya no puede considerarse una partícula y se envía al algoritmo de deslizamiento.

Algoritmo de deslizamiento

Es utilizado para calcular el deslizamiento de las rocas después de que hayan salido del algoritmo de proyectil. Las rocas se deslizan en cualquier segmento de la pendiente y barrera. Para el propósito del algoritmo de deslizamiento, el segmento de pendiente o barrera sobre la que se desliza la roca, consiste en un único segmento de línea recta que tiene propiedades de ángulo de pendiente

(Θ) y ángulo de fricción (ϕ). El ángulo de fricción actúa como un valor constante o muestrearse a partir de una distribución aleatoria.

La roca puede comenzar a moverse en cualquier lugar a lo largo del segmento y puede tener una velocidad inicial que se dirige hacia arriba o hacia abajo. En las ecuaciones solo es considerado el componente de velocidad tangencial a la pendiente.

Una vez que se inicia el movimiento, el algoritmo utilizado depende de si la velocidad inicial es hacia arriba o hacia abajo.

a. Deslizamiento cuesta abajo

Cuando la velocidad inicial de la roca parte del reposo cuesta abajo (o cero), el camino de la roca depende de las capacidades relativas del ángulo de fricción (ϕ) y del ángulo de pendiente (Θ).

$\Theta = \phi$: si el ángulo de la pendiente es igual al ángulo de fricción, la fuerza impulsora (gravedad) es igual a la fuerza de resistencia (fricción) y la roca se deslizará fuera del extremo de la pendiente hacia abajo del segmento, con una velocidad igual a la velocidad inicial (es decir, $V_{EXIT} = V_0$). Hay un caso especial cuando $V_0 = 0$; en este caso, la roca no se mueve, y la simulación termina.

$\Theta > \phi$: si el ángulo de la pendiente es mayor que el ángulo de fricción, la fuerza impulsora es mayor que la fuerza de resistencia y la roca se deslizará fuera del punto final de la pendiente descendente con una velocidad mayor. La velocidad con la que la roca abandona el segmento de la pendiente se calcula mediante:

$$V_{EXIT} = \sqrt{V_0^2 - 2sgk} \quad (19)$$

Donde:

V_{EXIT} : es la velocidad de la roca al final del segmento

V_0 : es la velocidad inicial de la roca, tangencial al segmento

s : es la distancia desde la ubicación inicial hasta el punto final del segmento

g : es la aceleración debida a la gravedad (-9.81 m / s^2)

k : es $\pm \sin(\Theta) - \cos(\Theta) \tan(\phi)$

Donde:

Θ : es la pendiente del segmento

ϕ : es el ángulo de fricción del segmento

\pm : es + Si la velocidad inicial de la roca es descendente o cero

\pm : es - Si la velocidad inicial de la roca es ascendente

$\Theta < \phi$: si el ángulo de inclinación es menor que el ángulo de fricción, la fuerza de resistencia es mayor que la fuerza impulsora y la roca disminuirá en velocidad. La roca puede detenerse en el segmento, dependiendo de la longitud del segmento y la velocidad inicial de la roca.

Suponiendo que el segmento es infinitamente largo, se calcula una distancia de parada. La distancia se encuentra ajustando la velocidad de salida (V_{EXIT}) a cero en la ecuación 19 y reemplazando se tiene:

$$s = \frac{V_0^2}{2gk} \quad (20)$$

Luego se calcula la distancia desde la ubicación inicial de la roca hasta el final del segmento. Si la longitud de detención es mayor que la distancia al final del segmento, entonces la roca se deslizará fuera del final del segmento. En este caso, la velocidad de salida es calculado haciendo uso de la ecuación 19. Si la distancia de parada es menor que la distancia al final del segmento, entonces la roca se estancará en el segmento y la simulación termina. La ubicación donde la roca se detiene está a una distancia de “s” de la ubicación inicial.

b. Deslizamiento cuesta arriba

Cuando se desliza cuesta arriba, tanto la fuerza de fricción como la fuerza de la gravedad disminuyen la velocidad de la partícula. Suponiendo que el segmento es infinitamente largo, la partícula eventualmente se detendrá. La distancia de frenado se calcula utilizando la ecuación 20 y se calcula la distancia desde la ubicación inicial de la roca hasta el final de la pendiente ascendente del segmento. Si la distancia de detención es mayor que la distancia al final del segmento, la roca se deslizará fuera del final del segmento. En este caso, la velocidad de salida se calcula utilizando la ecuación 19. Si la distancia de detención es menor que la distancia al final del segmento, la roca se detiene y la simulación termina.

Si la roca se desliza hacia arriba y se detiene, se inserta en el algoritmo de deslizamiento en pendiente descendente. Si el segmento es lo suficientemente inclinado como para permitir el deslizamiento (es decir, $q > f$), la roca se deslizará por el extremo inferior del segmento. Si el segmento no es lo suficientemente inclinado, entonces la ubicación donde la roca dejó de moverse (después de deslizarse cuesta arriba) se toma como la ubicación final y se detiene la simulación.

2.2.5. Clasificación geomecánica de los macizos rocosos

Para **Ramírez & Alejano** (2004, pág. 145) los métodos de clasificación de los rocosos macizos, tienen como fin de valorar sus características para determinar la calidad de la misma. la expresión “macizo rocoso” hace referencia a los innumerables tipos de rocas atravesados por sus planos de discontinuidad, en la que se ejecuta una obra. Para su identificación se necesita conocer los siguientes aspectos:

- Comportamiento y resistencia de la roca.
- Familias de discontinuidades existentes.
- Fracturación del macizo y espaciado de los planos de discontinuidad.
- Caracteres geomecánicos de las discontinuidades: Rugosidad, continuidad, separación y resistencia de los labios, meteorización y relleno.
- Condiciones del agua en las juntas.
- Tensiones in situ, naturales o inducidas.
- Alteraciones producidas en el macizo rocoso por las excavaciones.

Las clasificaciones más importantes son: la de Bieniawski (RMR), la de Barton, Lien y Lunde (Q) y la de Hoek-Brown (GSI). Las dos primeras en el orden mencionado utilizan un parámetro, RQD (Rock Quality Designation), que se basa en la clasificación de Deere.

2.2.5.1. Estación geomecánica

Para (Walter, 2012) Una "Estación Geomecánica" es una zona o punto de observación de un afloramiento rocoso, para ello se hace un estudio metódico del tipo de roca, condiciones de alteración, y otros detalles, en que los más significativos son el tipo y las diaclasas que afectan al rocoso macizo, adquiriendo datos de la dirección y ángulo de buzamiento de las mismas, para luego proceder con el procedimiento estadístico y nos permita separar qué "familias" de discontinuidades o diaclasas afectan al macizo, y cuál es su orientación predominante.

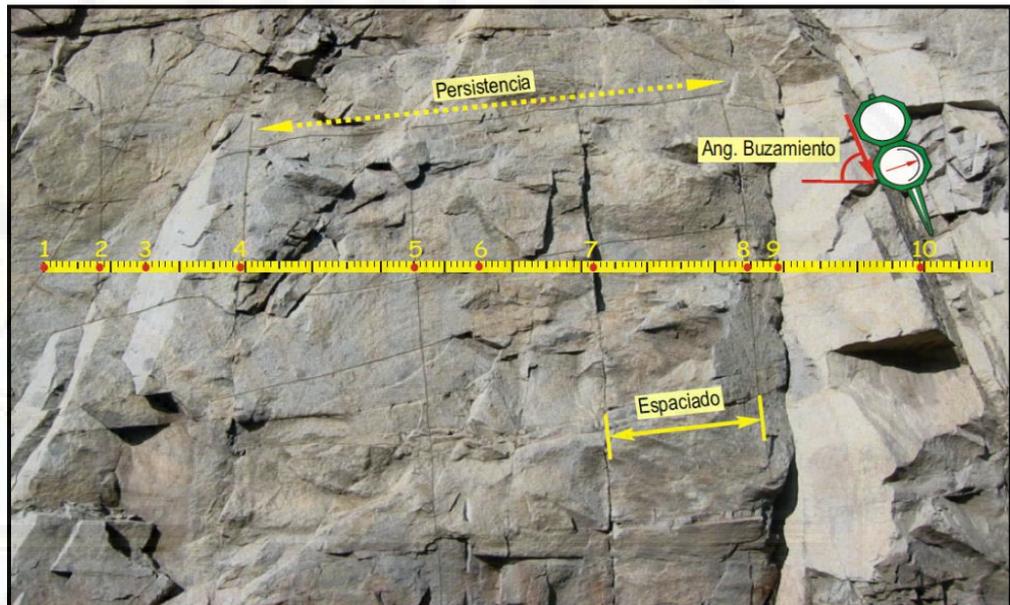


Figura 10. Mapeo geomecánica, Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004, pág. 16)

Características geomecánicas de las discontinuidades

- **Orientación:** es la posición de la diaclasa en el espacio y generalmente es descrito por su rumbo y buzamiento. Cuando tienen similar orientación o son paralelas, entonces forman un “sistema” o una “familia” de discontinuidades. **Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía** (2004, pág. 10)

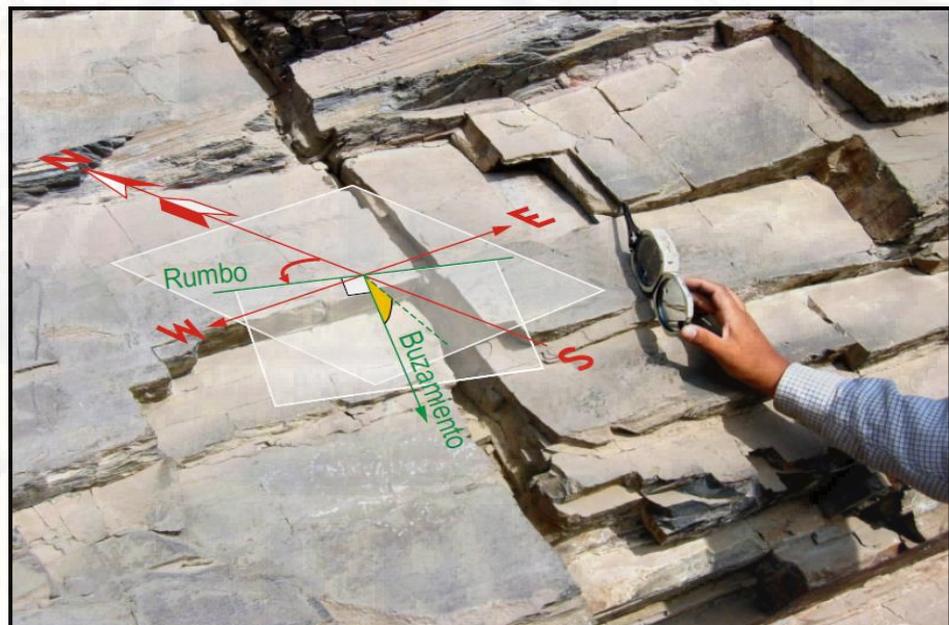


Figura 11. Orientación de discontinuidades, Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004, pág. 10)

- **Espaciado:** distancia perpendicular entre discontinuidades contiguas. La cual determina tamaño de los bloques de roca intacta. Si tienen menos espaciado, entonces los bloques serán más pequeñas y si son más espaciados, los bloques serán más grandes.

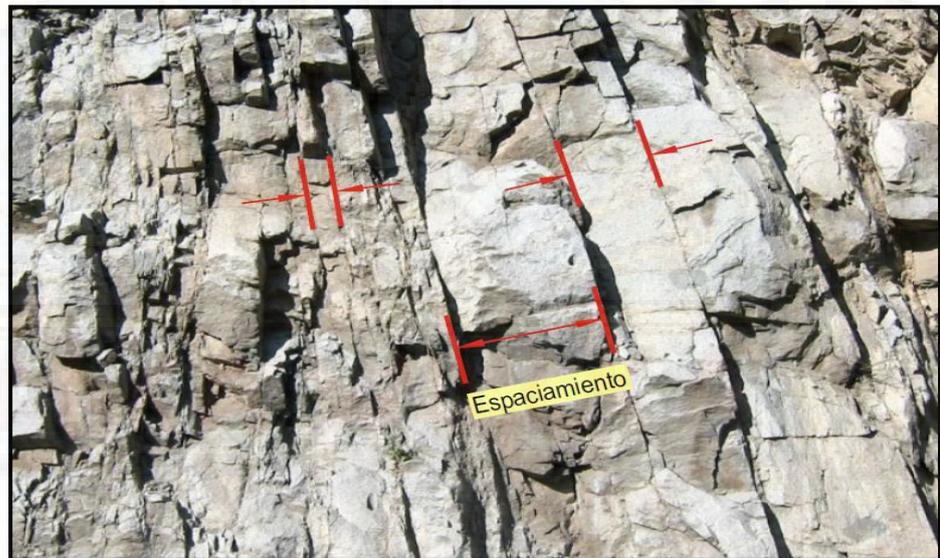


Figura 12. Espaciado de las discontinuidades, Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004, pág. 10)

- **Persistencia:** se define como la extensión del tamaño de una discontinuidad. Si la persistencia es menor, la masa rocosa es más estable y si es mayor es menos estable. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004, pág. 11)

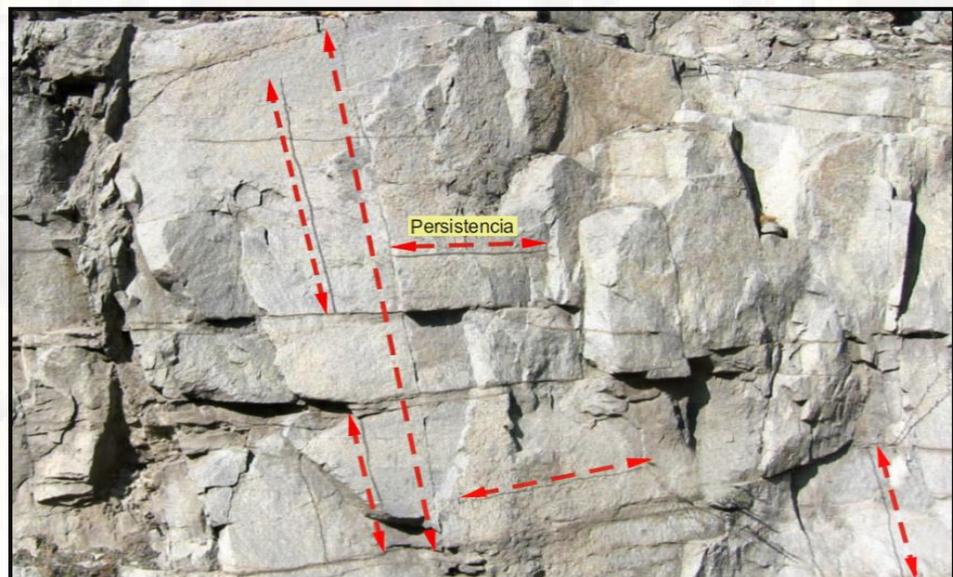


Figura 13. Persistencia de discontinuidades, Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004, pág. 11)

- **Rugosidad:** mide la aspereza o irregularidad de la superficie o plano de la discontinuidad. Si es menor la rugosidad de una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y de lo contrario, la masa rocosa será más competente. **Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía** (2004, pág. 11)

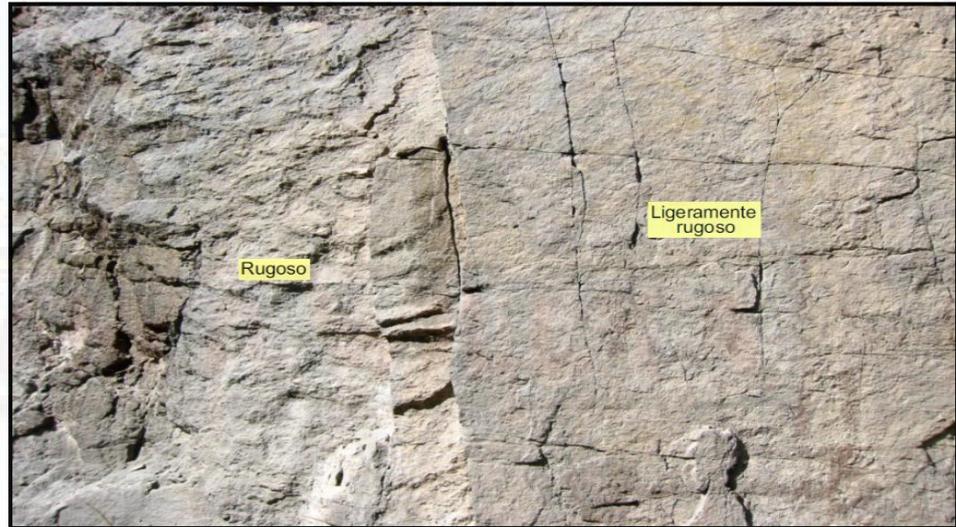


Figura 14. Grado de aspereza de discontinuidades, **Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía** (2004, pág. 11)

- **Apertura:** es el apartamiento o grado de abertura entre las paredes rocosas de una discontinuidad. Si es menor la apertura, las condiciones del macizo rocoso serán excelentes y viceversa serán desfavorables. **Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía** (2004, pág. 12)

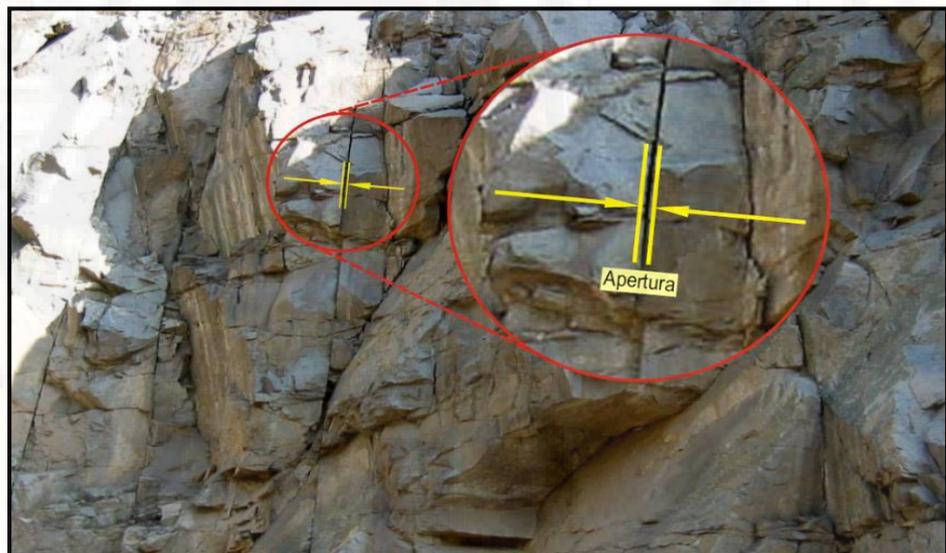


Figura 15. Apertura de una discontinuidad, **Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía** (2004, pág. 12)

- **Relleno:** se llama relleno de una discontinuidad al material que está presente entre sus labios. Habitualmente el grosor de relleno es equivalente a la distancia perpendicular entre los labios. **Ramírez & Alejano** (2004, pág. 195)



Figura 16. Apertura de una discontinuidad, **Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía** (2004, pág. 12)

- **Agua:** la presencia del agua en los macizos rocosos se realiza a través de las discontinuidades (permeabilidad secundaria), a excepción de las rocas sedimentarias con un alto índice de poros, donde el agua circula por la propia roca (permeabilidad primaria). **Ramírez & Alejano** (2004, pág. 196)

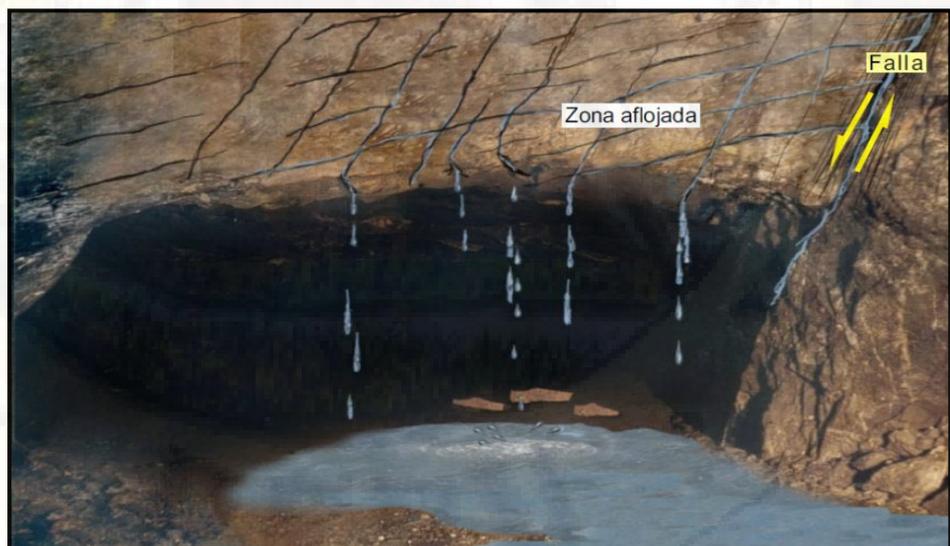


Figura 17. El agua puede lubricar las familias de discontinuidades y permitir que las piezas de rocas se muevan, **Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía** (2004, pág. 49)

2.2.5.2. Clasificación por método de Q de Barton (Q)

La calidad de la roca viene definida mediante la ecuación:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

RQD/J_n, representa la dimensión de los bloques.

J_r/J_a estima la resistencia al corte entre bloques.

J_w/SRF hace referencia al estado tensiones en el macizo rocoso.

Asignación del tipo de roca según su valoración:

Tabla 4. Valoración de Q de Barton

| Q | ASIGNACIÓN DEL TIPO DE ROCA SEGÚN SU VALORACIÓN | | | | | | | | |
|-------------|---|----------------------------|--------------|-------|---------|-------|--------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | 1000-400 | 400-100 | 100-40 | 40-10 | 10-4,0 | 4-1,0 | 1-0,1 | 0,1-0,01 | 0,01-0,001 |
| DESCRIPCIÓN | EXCEPCIONAL MENTE BUENA | EXTREMENADA MENTE BUENA | MUY BUENA | BUENA | REGULAR | POBRE | MUY POBRE | EXTREMENA DAMENTE POBRE | EXCEPCIO NALMENT E POBRE |

Fuente: (CGI, 2014)

Está basado en seis parámetros, las cuales se mencionan a continuación:

- **Rock Quality Designation (RQD):** Este valor se estima de acuerdo al número fracturas por metro lineal.

Tabla 5. Índice de calidad de la roca

| # Fract/ml | RQD (%) | # Fract/ml | RQD (%) | # Fract/ml | RQD (%) |
|---------------|------------|---------------|------------|---------------|---------|
| 1 | 100 | 11 | 70 | 21 | 38 |
| 2 | 98 | 12 | 66 | 22 | 35 |
| 3 | 96 | 13 | 63 | 23 | 33 |
| 4 | 94 | 14 | 59 | 24 | 31 |
| 5 | 91 | 15 | 56 | 25 | 29 |
| 6 | 88 | 16 | 53 | 26 | 27 |
| 7 | 84 | 17 | 49 | 27 | 25 |
| 8 | 81 | 18 | 46 | 28 | 23 |
| 9 | 77 | 19 | 43 | 29 | 21 |
| 10 | 74 | 20 | 41 | 30 | 20 |

Fuente: (CGI, 2014)

- **Número de familias de juntas (J_n)**

Se estima en función del número de discontinuidades encontradas en un metro lineal de roca.

Tabla 6. Número de familias de juntas (CGI, 2014)

| NÚMERO DE DISCONTINUIDADES | |
|--|-----------|
| Descripción | J n |
| Masiva o con muy poca discontinuidad | 0.5 - 1.0 |
| Un sistema de discontinuidad | 2 |
| Un sistema de principal y uno secundario | 3 |
| Dos sistemas de discontinuidad | 4 |
| Dos sistemas principales y uno secundario | 6 |
| Tres sistemas de discontinuidades | 9 |
| Tres sistemas principales y uno secundario | 12 |
| Cuatro sistemas de discontinuidades o mas (roca muy fracturada) | 15 |
| Roca triturada (Terrosa) | 20 |

Nota:

- i) Para intersecciones de túneles, usar $(3.0 * J_n)$
- ii) Para portales usar $(2.0 * J_n)$

▪ **Rugosidad de las juntas (Jr)**

Tabla 7. Factor de rugosidad de las juntas (CGI, 2014)

| FACTOR DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES | |
|--|-----|
| DESCRIPCIÓN | Jr |
| A Diaclasas discontinuas | 4 |
| B Rugosas e irregulares, onduladas | 3 |
| C Lisas, onduladas | 2 |
| D Lustrosas ondulantes | 1.5 |
| E Rugosas o irregulares, planares | 1.5 |
| F Lisas, planares | 1 |
| G Lustrosas, planares | 0.5 |
| H Zona conteniendo arcillas en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura | 1 |
| J Zona de material arenoso en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura | 1 |

NOTAS.

En grupos A hasta la G, el contacto entre las superficies de la discontinuidad se logra con desplazamientos de cizalla inferiores a los 10 cm.

Las descripciones se refieren a las características de pequeña escala y características de escala intermedia, en ese orden.

En los grupos H y J no se produce contacto entre las superficies al ocurrir desplazamientos de cizalla

* Agregar 1.0 cuando el espaciamiento medio de las diaclasas fuera superior a 3 cm.

* Jr = 0.5 puede ser usado para juntas planares lustrosas que tienen alineaciones, siempre que las alineaciones están orientadas para la resistencia mínima

▪ **Meteorización de las juntas (Ja)**

Tabla 8. Factor de alteración de las juntas (CGI, 2014)

| FACTOR DE ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES | | |
|---|---|----------------------|
| | DESCRIPCIÓN | Ja |
| a) Contacto entre superficies de la discontinuidad (sin relleno de mineral, solo recubrimientos) | | |
| A | Ajustadas, rellenas con material compacto | 0.75 |
| B | Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidación | 1 |
| C | Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso, producto de la desintegración de la roca. | 2 |
| D | Capas superficiales de material limoso o arcilloso arenoso, con una pequeña fracción cohesiva. | 3 |
| E | Capas superficiales de arcilla (caolinita, mica cloritas, etc.) cantidades pequeñas de arcilla expansiva en capas de 1- 2 mm de espesor | 4 |
| b) Contacto entre superficies de la discontinuidad se produce después de 10cm de (relleno de mineral fino) | | |
| F | Relleno granular no cohesivo, roca desintegrada libre de partículas arcillosas | 4 |
| G | Material con alto grado de consolidación, relleno continuo (hasta de 5mm. de espesor) de material arcilloso compacto. | 6 |
| H, I | Relleno continuo (hasta de 5mm. De espesor) de material arcillosos compacto con bajo grado de consolidación | 8 |
| J | Relleno continuo de arcilla expansivas (Montmorillonita) el valor de Ja dependerá del % de expansión, el tamaño de las partículas arcillosas, la accesibilidad del agua, etc. | 8 - 12 |
| c) No contacto entre superficies de la discontinuidad después de cizalla (relleno de mineral grueso) | | |
| K, L, M | Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcilla (ver G, H, J para la descripción de los tipos de arcilla) | 6 - 8 ó 8 - 12 |
| N | Zona de arcilla limosa o arenosa | 5 |
| O, P, Q | Zonas potentes y continuas de arcilla (ver G, H, J para la descripción de los tipos de arcilla) | 10 - 13 ó 13 - 20 |

▪ **Coefficiente reductor que tiene en cuenta la presencia de agua (Jw)**

Tabla 9. Factor de reducción por contenido de agua en fracturas (CGI, 2014)

| FACTOR DE REDUCCIÓN POR CONTENIDO DE AGUA EN FRACTURAS | | |
|---|---|-------------|
| | DESCRIPCIÓN | Jw |
| A | Secas o flujos bajos (5 l/min) | 1 |
| B | Flujos a presiones medias que ocasionen erosión del material de relleno | 0.66 |
| C | Flujos o presiones altas en roca competente con diaclasas sin relleno | 0.5 |
| D | Flujos a presiones altas con erosión considerable del material de relleno | 0.33 |

| | | |
|---|---|------------|
| E | Flujos o presiones excepcionalmente altas luego de la voladura disminuyendo con el tiempo | 0.2 - 0.1 |
| F | Flujos o presiones excepcionalmente altas sin que ocurra una disminución en el tiempo | 0.1 - 0.05 |

Notas:

- Factores C a F son estimaciones básicas. Aumentar J_w si se han instalado medidas de drenaje.
- Especiales problemas causados por la formación de hielo no son considerados.

Para la caracterización general de las masas de roca distantes de las influencias de excavación, el uso de $J_w = 1, 0, 0,66, 0,5, 0,33$, etc , aumenta con la profundidad como por ejemplo 0-5m, 5-25m, 25-250m a $> 250m$ se recomienda, si se asume que RQD / J_n es lo suficientemente bajo (ejemplo 0,5-25) para una buena conectividad hidráulica. Esto le ayudará a ajustar Q para algunos de las tensiones efectivas y los efectos de ablandamiento de agua, en combinación con los valores apropiados de caracterización SRF. Correlaciones con módulo de deformación estática y la profundidad dependen de la velocidad sísmica. En la práctica usar estos valores cuando se desarrollan.

- **Stress Reduction Factor (SRF):** factor dependiente principalmente de las tensiones existentes en el macizo rocoso.

Tabla 10. Factor de reducción por tensiones (CGI, 2014)

| FACTOR DE REDUCCIÓN POR TENSIONES | | |
|-----------------------------------|---|-----|
| | DESCRIPCIÓN | SRF |
| A) | Las zonas débiles intersectan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de rocas a medida que la excavación del túnel va avanzando. | |
| A | Muchas zonas débiles de arcilla con evidencias de desintegración química roca circundante muy suelta cualquier profundidad | 10 |
| B | Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad menor 50m) | 5 |
| C | Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada, profundidad mayor 50m. | 2.5 |
| D | Muchas zonas de falla en roca competente, roca circundante suelta. (cualquier profundidad) | 7.5 |
| E | Zona de falla aislada en roca competente profundidad menor a 50 m. | 5 |
| F | Zona de falla aislada en roca competente profundidad mayor a 50 m. | 2.5 |
| G | Diaclasas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada, en terrones, cualquier prof. | 5 |

Nota: i) Reducir estos valores de SRF por 25-50% si las zonas de fallas influyen, pero no intersectan la excavación.

| B) Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas | | | | |
|--|---|----------|------------|---------|
| | | sc/s1 | sq/sc | SRF |
| H | Tensiones bajas, poca profundidad, diaclasas abiertas | > 200 | < 0.01 | 2.5 |
| J | Tensiones moderadas, condiciones tensionales favorables | 200 - 10 | 0.01 - 0.3 | 1 |
| K | Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales | 10-5 | 0.3 - 0.4 | 0.5 - 2 |

| | | | | |
|---|--|-------|------------|-----------|
| L | Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas | 5 - 3 | 0.5 - 0.65 | 5 - 50 |
| M | Lajamiento y estallido de la roca después de pocos minutos en rocas masivas | 3 - 2 | 0.65 - 1 | 50 - 200 |
| N | Estallidos violentos de roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas | < 2 | > 1 | 200 - 400 |

Nota: ii) Para campos insitu fuertemente anisotrópico (si se ha medido): cuando $5 \leq s_1/s_3 \leq 10$, reducir s_c en $0.75s_c$, cuando $s_1/s_3 > 10$, reducir s_c a $0.5s_c$, donde s_c =esfuerzo compresivo sin confirmar, s_1 y s_3 son los esfuerzos principales mayores y menores y s_q =esfuerzo tangencial máximo (estimado de la teoría de la elasticidad)

iii) Existen algunos registros disponibles que señalan que la altura del techo de la excavación a superficie es mejor que el ancho de la labor. Para este caso se sugiere incrementar de 2.5 a 5 para estos casos (ver H).

C) Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente a altas Presiones litostáticas

| | sq/sc | SRF |
|----------------------------------|-------|---------|
| O Presión de deformación suave | 1 - 5 | 5 a 10 |
| P Presión de deformación intensa | > 5 | 10 a 20 |

Nota: iv) Casos de deformaciones de roca pueden ocurrir para profundidades $H > 350 * Q^{(1/3)}$. La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada como $q = 7 * g * Q^{(1/3)}$, donde g =densidad de la roca(gm/cc)

D) Rocas expansivas: Actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua

| | SRF |
|--------------------------------|---------|
| R Presión de expansión suave | 5 - 10 |
| S Presión de expansión intensa | 10 - 15 |

2.2.5.3. *Sistemas de protección contra desprendimientos*

Para mitigar problemas de caída de rocas, es necesario analizar los riesgos geotécnicos del área en estudio, asimismo se debe valorar los componentes más peligrosos que influyen en el proceso para diseñar las soluciones más eficientes. Estos sistemas de protección se integran en un conjunto de elementos que trabajan de forma adecuada y coordinada. **Bianchini Ingeniero,** (2018)

(García, 2005) Sostiene que: En caso de no poder prevenir o identificar todos los posibles desprendimientos de roca, entonces se debe de hacer uso de algún método de protección para mitigar dicho problema, a continuación, se describen algunos de los sistemas de protección (p.110).

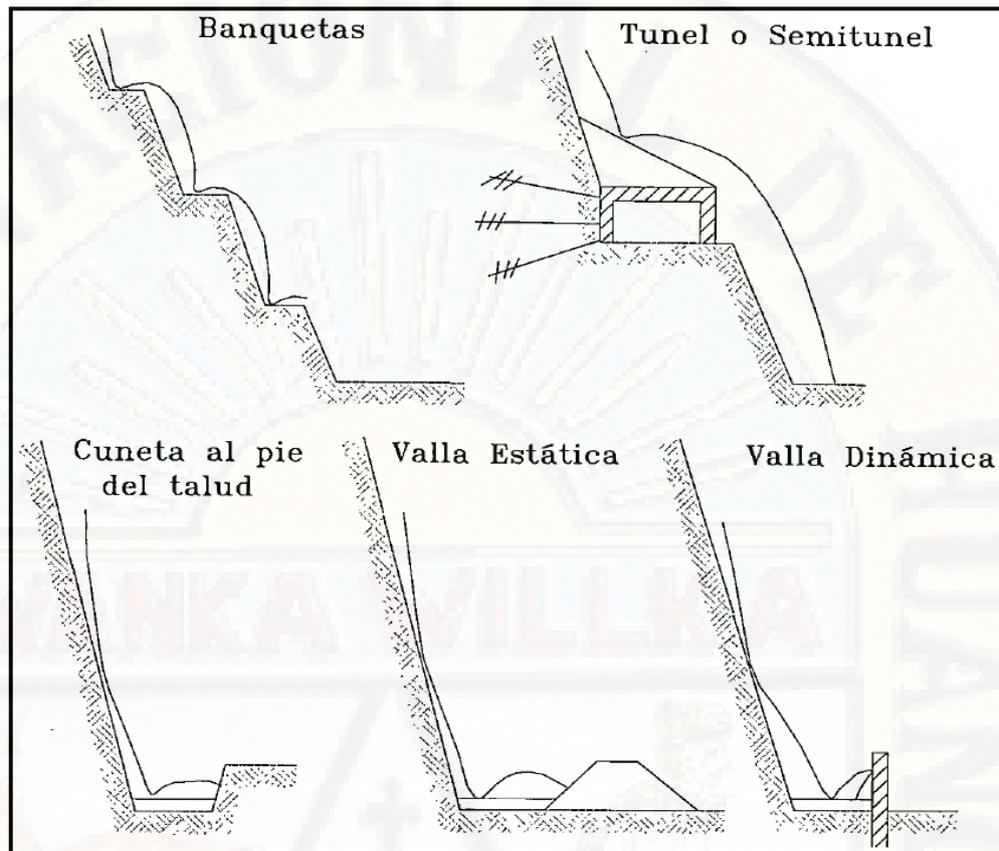


Figura 18. Métodos de protección contra caída de rocas (García, 2005, pág. 142)

Luego de realizar simulaciones en cualesquiera de los softwares comerciales de desprendimientos de rocas (Figura N°12), deben ser analizados e interpretados los resultados de velocidad, altura de rebote y energía cinética, para una buena elección.

Tabla 11. Principales programas informáticos para cálculo de caídas de rocas. (Guzzetti, Crosta, Detti, & Agliardi, 2002)

| <i>Year</i> | <i>Author(s)</i> | <i>Program name</i> | <i>Dimensions</i> | <i>Approach</i> | <i>Probabilistic</i> |
|-------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| 1976 | <i>Piteau and Clayton</i> | <i>Computer Rockfall Model</i> | 2-D | <i>Lumped mass</i> | <i>Partly</i> |
| 1982-86 | <i>Bozzolo and Pamini</i> | <i>SASS - MASSI</i> | 2-D | <i>Hybrid</i> | <i>Yes</i> |
| 1985 | <i>Bassato et al.</i> | <i>Rotolamento Salto Massi</i> | 2-D | <i>Lumped mass</i> | <i>No</i> |
| 1987 | <i>Descouedres and Zimmemann</i> | <i>Eboul</i> | 3-D | <i>Rigid body</i> | <i>No</i> |

| | | | | | |
|---------|-----------------------------|-----------------|-----|--------------------|------------|
| 1989-91 | <i>Pfeiffer and Bowen</i> | <i>CRSP</i> | 2-D | <i>Hybrid</i> | <i>Yes</i> |
| 1990 | <i>Kobayashi et al.</i> | | | <i>Rigid body</i> | <i>No</i> |
| 1991-95 | <i>Azzoni et al.</i> | <i>CADMA</i> | 2-D | <i>Hybrid</i> | <i>Yes</i> |
| 1991 | <i>Scioldo</i> | <i>Rotomap</i> | 2-D | <i>Lumped mass</i> | <i>No</i> |
| 1998 | <i>Stevens</i> | <i>RocFall</i> | 2-D | <i>Hybrid</i> | <i>Yes</i> |
| 1999 | <i>Paronuzzi and Artini</i> | <i>Mobyrock</i> | 2-D | <i>Lumped mass</i> | <i>Yes</i> |
| 2000 | <i>Jones et al.</i> | <i>CRSP 4.0</i> | 3-D | <i>Hybrid</i> | <i>Yes</i> |
| 2002 | <i>This work</i> | <i>STONE</i> | 3-D | <i>Lumped mass</i> | <i>Yes</i> |

- **Banquetas:** estos generan un resultado favorable en la estabilidad general de una ladera, también facilitan el proceso constructivo, la operación y el mantenimiento del talud, impide el paso de las caídas de rocas y, si en ellas disponen zanjas de drenaje, reducen el aumento de presiones intersticiales. Las banquetas suelen construirse en taludes de roca, de preferencia cuando se quiere evitar la caída y es fácilmente meteorizable.
- **Cunetas al pie de talud:** posiblemente el método de protección más eficiente que da resultados eficaces contra desprendimientos, es la construcción de zanjas o cunetas al pie del talud. La función de la cuneta, es recolectar las rocas que se desprende, impidiendo que se alejen al pie del talud.
- **Enmallado:** con el fin de proteger al talud del deterioro e impedir la fractura continua de éstos, se usa como sistemas de protección los enmallados. Pueden ser de tipos diferentes, que revistan el talud y son unidos a éste, mediante anclajes. Los diferentes tipos de enmallados son 4:
 - Las mallas de alambre con pernos de anclaje
 - Redes de cables con pernos de anclaje
 - Combinación de mallas y red de cables.
- **Vallas estáticas:** estos sistemas fueron diseñados para resistir fuertes choques, que pueden ser absorbidos de formas diferentes por la estructura

de contención, dependiendo principalmente por su rigidez. Las soluciones más conocidas son:

- **Caballones de tierra con cunetas colectoras del lado de la ladera:** son beneficiosos en donde el relieve, material y condiciones de drenaje de la ladera, admitan su construcción en forma segura.

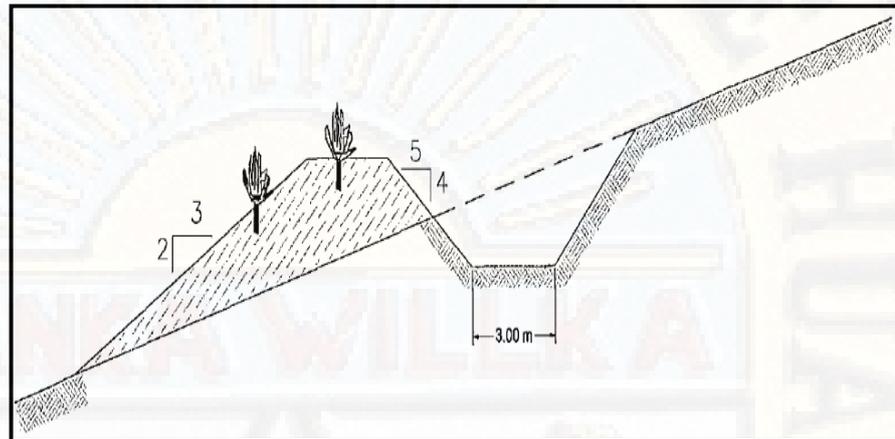


Figura 19. Caballones de Tierra con Cunetas Colectoras del Lado de la Ladera, (García, 2005, p. 157)

- **Muros de concreto:** es recomendable para impactos de bloques, rocas de menor velocidad. Estos pueden llegar a tener una resistencia aproximada de absorción de energía de 20 kJ.

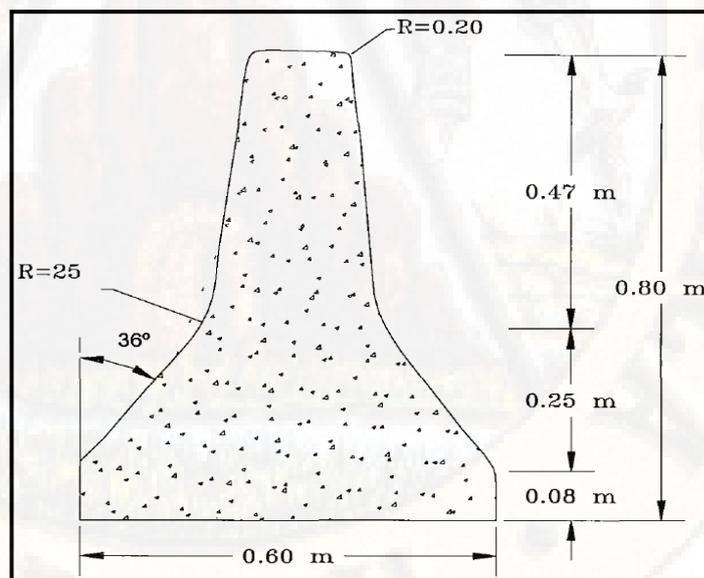


Figura 20. Muros de concreto (García, 2005, p. 148)

- **Muros de gaviones:** son construidos principalmente por alambres de enrejado de 3 ó 5 torsiones, sea galvanizado o plastificado, con

rellenos de cantos rodados y suelen colocarse unos sobre otros, obteniendo muros de protección con energía de soporte menores a 20KJ.

- **Pantallas metálicas:** en la mayoría de casos, son elementos metálicos y poseen la capacidad de contener las rocas que caen con una energía no mayor a 70 KJ.
- **Vallas dinámicas:** Son estructuras elásticas que pueden absorber una alta energía cinética y está conformado por redes de cables de gran capacidad de deformación, estos cuentan con disipadores de energía, apoyadas por postes deformables. Estas se integran de: redes de cable, postes, disipadores de energía, mallas de alambre, anclaje de cable, barras de anclaje y red de anillos.

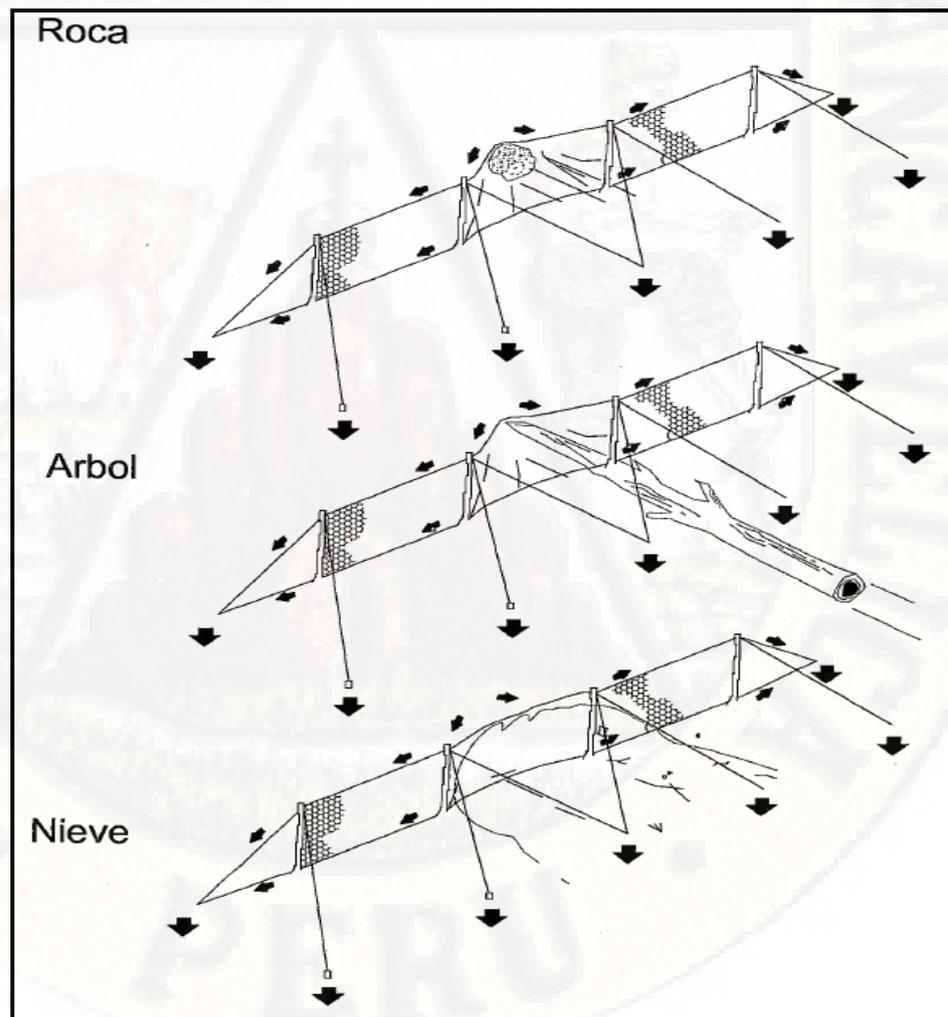


Figura 21. Valla dinámica (García, 2005, p. 151)

2.3. Bases conceptuales

Identificación de riesgos:

La identificación temprana de un riesgo, contribuir a reducir los efectos del mismo, a la vez establecer el nivel de riesgo de una localidad, a través de la identificación de un peligro potencial y el análisis de vulnerabilidad **INDECI**, (2006, págs. 7-9).

Desprendimientos de roca:

García, (2005) define: Los desprendimientos de rocas, son originadas por eventos: climáticos, biológicos o sísmicos, los que ocasionan cambios en las fuerzas actuantes en una roca, disminución de resistencia en los planos de discontinuidades; a ello se le incluye el aumento de la presión de poros debido a la infiltración de precipitaciones, desgaste del material presente en las fuertes precipitaciones, procesos de congelamiento y deshielo, proceso químico y biológico, a este se le suma fuertes vientos. (pp.101-102)

El Programa de simulación Rocfall:

Este programa está diseñado para realizar modelaciones del comportamiento de caída de rocas, proporcionando un análisis estadístico de los posibles eventos de caída de roca. **Geo techpedia** (2018).

Barrera dinámica:

Compuesto por un sistema complejo de paneles en cable y red metálica de doble torsión, para la retención de rocas, cables de acero conectados a elementos estructurales, dispositivos de disipación de energía y de anclaje, las cuales son representadas por su alta capacidad elástica de deformación, en aras de garantizar la disminución de altas energías. **Maccaferri** (2019, pág. 18)

2.4. Definición de términos

- **Susceptibilidad:** se entiende por susceptibilidad a predisposición ya sea mayor o menor de que un evento pueda suceder en un espacio geográfico.
- **Riesgo:** son las pérdidas que se pueden esperar a causa de condición vulnerable, el cual puede afectar a la vida del ser humano y su economía.

- **Vulnerabilidad:** es lo que puede ocasionar el peligro al ser humano afectándolo en su vida o su factor económico. Esta a su vez comprende los siguientes factores como: Exposición, Fragilidad y Resiliencia.
- **Mitigación:** es la disminución de la vulnerabilidad, ante los efectos causados de un evento natural o antrópico.
- **Resiliencia:** capacidad de respuesta de la población frente a un evento natural o antrópico ante el impacto de amenaza o peligro.
- **Peligro:** probabilidad de ocurrir un evento natural o antrópico en área geográfica específico.
- **Monitoreo:** seguimiento mediante el uso de tecnologías o de manera instrumental en áreas específicas donde puede ocurrir un peligro.
- **Mapa de riesgos:** los mapas de riesgo son planos que muestran un grado determinado de valoración, de los lugares donde predomina las amenazas y riesgo. **Suarez, (2013).**
- **Mapa temático:** se caracteriza por la utilización de múltiples colores y técnicas de la cartografía, según el grado de valoración que esta tiene.
- **Manejo de riesgos:** procedimiento a seguir para el análisis de riesgos con el fin de disminuir o mitigar los riesgos.
- **Velocidad Angular:** es una medida de la velocidad de rotación. Se define como el ángulo girado por una unidad de tiempo **Prieto, Rodríguez, & Ismael, (2007)**
- **Caída libre:** en un bloque la caída libre es descrito por la ecuación de una parábola donde no se tiene la fricción del aire. **Álvarez et al., (2018)**
- **Rebote:** esto ocurre cuando la roca que cae, impacta sobre la superficie del talud. **Álvarez et al., (2018)**
- **Movimiento de rodadura:** es la velocidad final de un bloque que cae sobre una pendiente inclinada rodando. **Álvarez & Moral (2018)**
- **Forma del bloque:** la forma de las rocas varía mientras realiza el recorrido hasta su caída final. **Álvarez et al., (2018).**
- **RPA:** Remote Piloted Aircraft, es una aeronave dirigida por un “piloto remoto”, ubicado en una “estación de piloto remoto” ubicada fuera de la aeronave quien conduce durante el vuelo. **MTC (2018).**

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

El análisis y predicción de riesgo genera resultados favorables en el desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión – Huancavelica.

2.5.2. Hipótesis específicas

- a. El análisis y predicción de riesgo genera resultados favorables en el análisis de trayectorias por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión – Huancavelica.
- b. El análisis y predicción de riesgo genera resultados favorables en la validación del modelado con Rocfall por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión – Huancavelica.
- c. El análisis y predicción de riesgo genera resultados favorables en el Modelamiento con el software Rocfall por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión – Huancavelica.

2.6. Variables

2.6.1. Variable independiente

Análisis y predicción de riesgo

2.6.2. Variable dependiente

Desprendimiento de rocas

2.7. Operacionalización de variables

Tabla 12. Operacionalización de variables

| Tipo de variable | Variable | Definición conceptual | Dimensiones | Indicadores |
|------------------------|---------------------------------|--|-------------------------------------|---|
| Variable independiente | Análisis y predicción de riesgo | La predicción de riesgo se refiere a las áreas de deslizamiento futuro (Cardona, 2016, pág. 32) | Modelamiento en el software Rocfall | Determinación de los parámetros de entrada para un análisis como: velocidad angular, coeficiente de restitución, Rugosidad de pendiente, ángulo de fricción |
| | | | Validación del modelo Rocfall | Verificación de resultados mediante un modelo físico de: velocidad angular, coeficiente de restitución, rugosidad de pendiente, ángulo de fricción |
| Variable Dependiente | Desprendimiento de rocas | Son de carácter rápido y repentino. Estos movimientos son los más catastróficos. (Duque, 2017, pág. 425) | Análisis de trayectorias | Caída libre |
| | | | | Rebote |
| | | | | Rodadura |
| | | | | Deslizamiento |

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito temporal y espacial

3.1.1. Ámbito temporal

La presente investigación fue efectuada en el cerro Aparinacu y alrededores, perteneciente al sector de Ccollpayacu, barrio la Quinta Boliviana durante los meses de octubre del 2018 a octubre del 2019.

3.1.2. Ámbito espacial

La investigación se llevó a cabo en el cerro Aparinacu y alrededores, perteneciente al sector de Ccollpayacu, barrio de Quinta Boliviana perteneciente al distrito de Ascensión, provincia y departamento de Huancavelica.

El cual cuenta con las coordenadas proyectadas del Datum WGS84, Zona 18S: 8587362 Norte, 502003 Este y 4010 m.s.n.m.

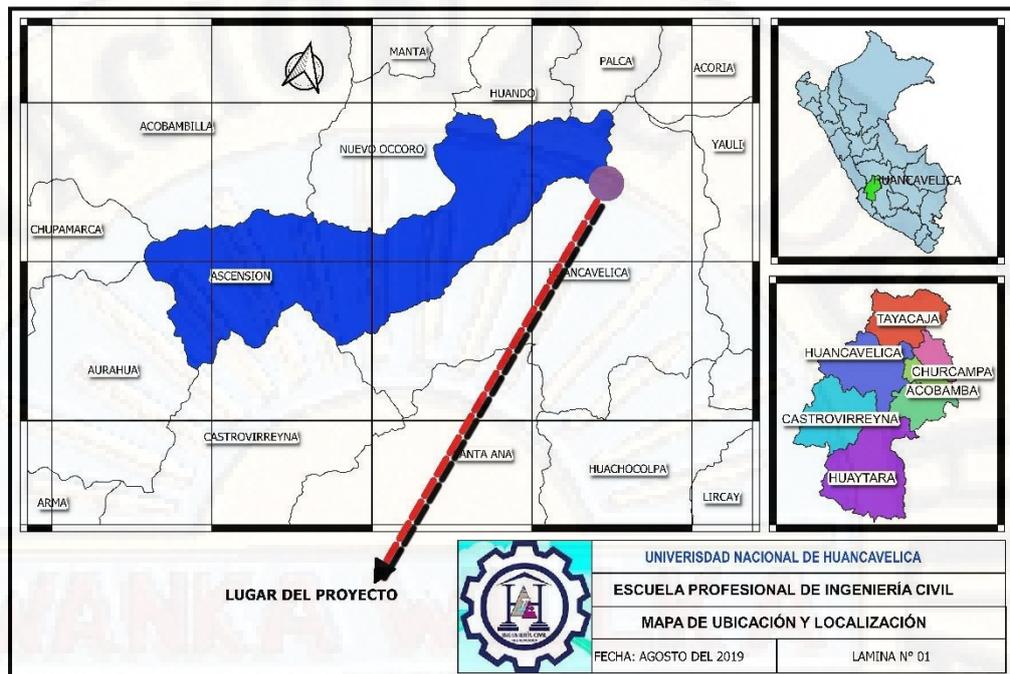


Figura 22. Mapa de ubicación y localización del área de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

3.2. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo **aplicada**, porque con ella se encamina a realizar, actuar, construir y modificar; además se interesa en la aplicación inmediata sobre una realidad. Este tipo de investigación es recomendable a los estudiantes de pre – y posgrado de las universidades, para entender el contexto social, económica, política y cultural de su entorno, y proponer soluciones concretas, reales, factibles, y necesarias a los problemas planteados. **Valderrama**, (2015, pág. 165)

3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación es **descriptivo**, porque se faculta en indagar la razón de los hechos, estableciendo relaciones causa-efecto. Razón por la cual, las investigaciones explicativas se ocupan en la determinación de las causas (investigación postfacto), asimismo de los efectos (investigación experimental). Sus resultados y conclusiones, establecen el nivel más profundo de los conocimientos confirmado o no la Hipótesis inicial. **Gonzales, Dulio, Ramírez, & Gave**, (2011, pág. 142)

3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

Según Niño, (2011, pág. 55) menciona que cuando se trata de precisar el objeto de estudio, es importante empezar de la caracterización de la población que se va ser estudiada, compuesto por una totalidad de personas u objetos que conforman el ámbito de estudio de una investigación.

Para la presente investigación, la población es el cerro Aparinacu, ubicado en el noroeste de la plaza principal del distrito de Ascensión.

3.4.2. Muestra

La muestra que se toma de la población es no probabilística de carácter intencional, porque la muestra se obtuvo sobre el total de la población.

3.4.3. Muestreo

El muestreo es de tipo no probabilístico, porque este tipo de muestra toma en cuenta las características de la investigación y según los criterios del investigador.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

La técnica que se utilizará es la **observación**: porque los datos observados se plasman en formatos adecuados de recolección de información, incluso es la técnica más moderna de investigación. Para tal fin realizaremos los trabajos siguientes:

- **Visita de campo:** observación visual del área de estudio.
- **Identificación de áreas inestables:** observación del área más crítica, sistema de fracturamiento dominante y el alto nivel de Intemperismo de las rocas que originan la inestabilidad de los taludes.

- **Levantamiento topográfico con RPA:** establecer puntos de control con GPS y mediante la aplicación de la fotogrametría, generar nubes de puntos, DEM, ortomosaicos, triangulación y finalmente curvas de nivel.
- **Validación del modelo Rocfall:** la validación será realizada en el lugar de estudio, para ello se tomarán rocas con diferentes pesos y lanzarlas cuesta abajo, así determinar los coeficientes de restitución normal y tangencial.
- **Modelado de desprendimiento de rocas bidimensional:** Aplicación teoría de mecánica de cuerpos rígidos.
- **Análisis de resultados:** determinar los resultados máximos de: Distancia alcanzada, altura de rebote, energía y velocidad.
- **Determinar la amenaza a la población:** modelamiento en Rocfall para determinar la amenaza de las rocas a los pobladores de la zona.
- **Elaboración de mapa de riesgos:** Identificar las áreas de amenaza de las rocas y las zonas vulnerables, para hacer la superposición y elaborar los mapas de riesgos.

3.5.2. Instrumentos

- Google Earth Pro 7.3.2.5491 (64-bit)
- GPS, drone Phantom 4 Pro (RPA).
- AgiSoft PhotoScan Professional Pro versión 1.4.0 build 5076 (64bit)
- GeoCatmin (Aplicativo del Ingemmet)
- Autocad Civil 3D 2019 (64-bit)
- Excel 2016 (64-bit).
- Equipos de laboratorio y tablas de Rocscience.
- Rocfall versión 4.039
- Uso de Sistemas de Información Geográfica (GIS) ArcGIS 10.5 y Qgis 3.8.0 Zanzibar para la zonificación de áreas de riesgo.

3.6. Técnicas y procesamiento de análisis de datos

Una vez obtenido los datos de: topografía de la zona, peso específico de la roca, estaciones geomecánicas, perfiles de las trayectorias y modelaciones en Rocfall, se procede a realizar el trabajo en gabinete e insertar todos los datos en los Sistemas de Información Geográfica: ArcGIS y Qgis, para así de esta manera, obtener los mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

3.6.1. Método general

El método científico es la manera sistematizada en que se efectúa el pensamiento reflexivo que nos permite llevar a cabo un proceso de investigación científica.

3.6.2. Método específico

El método de investigación es experimental porque de acuerdo a un plan previo se organizará, para proceder con la investigación de las posibles causas-efecto.

3.7. Diseño de investigación

El diseño de investigación es **pre experimental** de enfoque **cuantitativo**. Porque: “Consiste en administrar un estímulo o tratamiento a un grupo y después aplicar una medición de una o más variables para observar cuál es el nivel del grupo en éstas.” Según refiere **Hernández, Fernández, & Baptista**, (2015, pág. 136)

GE: O₁ X O₂

GE: Grupo experimental

O₁: Pre test

O₂: Post test

X: Manipulación de variable independiente

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

4.1.1. Visita de campo

4.1.1.1. Aspectos geológicos y geomorfológicos

4.1.1.1.1. Geología:

De acuerdo a Morche & Larico (1996, p. 56) geológicamente en el lugar de estudio, predominan rocas de las formaciones Chunumayu de la edad Mesozoico del Jurásico Medio.

La edad de esta formación es conocida mediante los estudios detallados realizados por Westermann, Riccardi, Palacios, & Rangel (1980, pp. 15-23)

4.1.1.1.1.1. Formación Chunumayu (*Jm-ch*)

Litológicamente, esta zona se compone por la fusión de calizas con limoarcillitas y limos areniscosos. La coloración que predominan las calizas es: grises claras y pardo claro producto de la oxidación.

Además, en la zona predomina rocas calcáreas de mediana a altamente fractura y diaclasada, con planos orientados hacia el S, SO, según Gómez & Albinez (2018, pág. 18).

4.1.1.1.2. Geomorfología:

El cerro Aparinacu se encuentra en ladera de montaña volcánica y tiene pendiente promedio de 63.11° , donde afloran rocas sedimentarias – Lutitas y/o Andesitas, altamente erosionadas.

Según Gómez & Albinez (2018, pág. 16) la estructura geomorfológica está formada por montañas en rocas sedimentaria y volcano-sedimentaria, con depósitos coluviales.

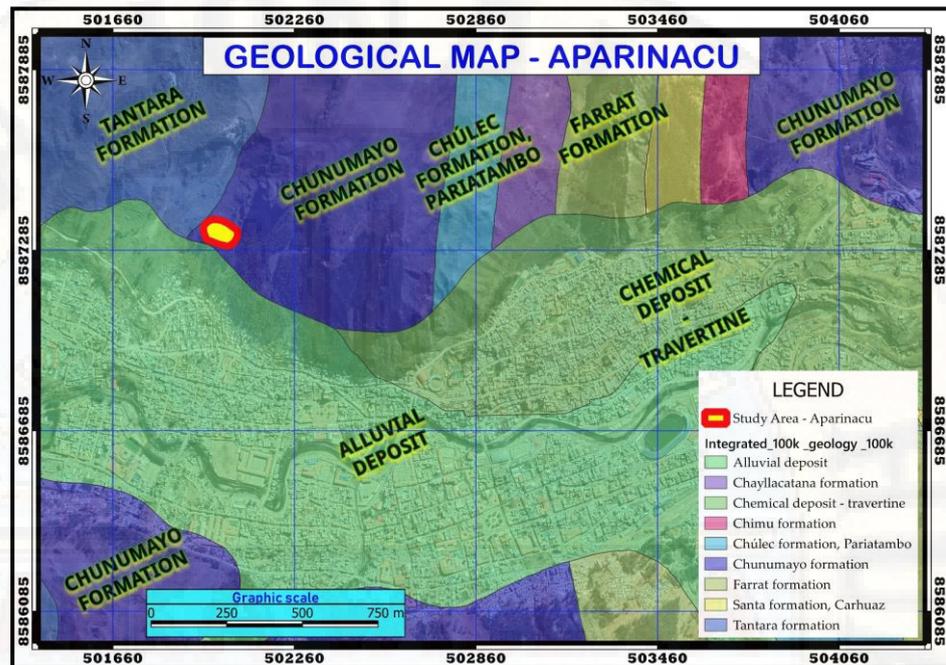


Figura 23. Mapa geológico, obtenida del aplicativo GeoCatmin.

En el sector de Ccollpayacu perteneciente al casco urbano del distrito de Ascensión, existe un peligro latente de desprendimiento de grandes masas rocosas para las familias residentes en la falda del cerro Aparinacu, de ocurrir un evento de caída de rocas, resulta altamente peligroso para estos habitantes.

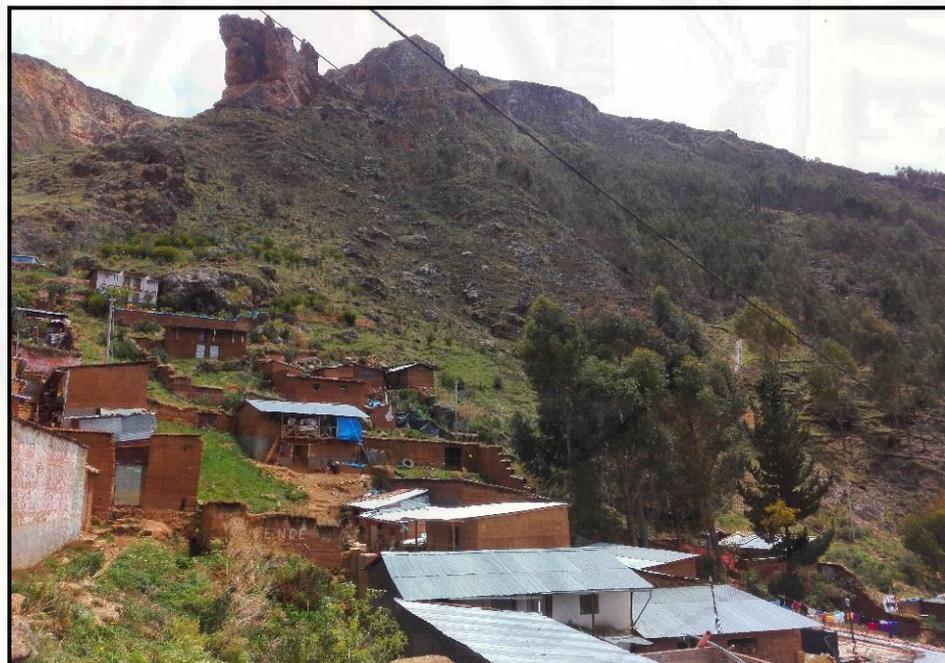


Figura 24. Vista del área de estudio.

Por las características morfológicas, esta zona está sujeta a peligros geológicos del tipo caída de rocas y erosión de ladera, Gómez & Albinez (2018, pág. 16)

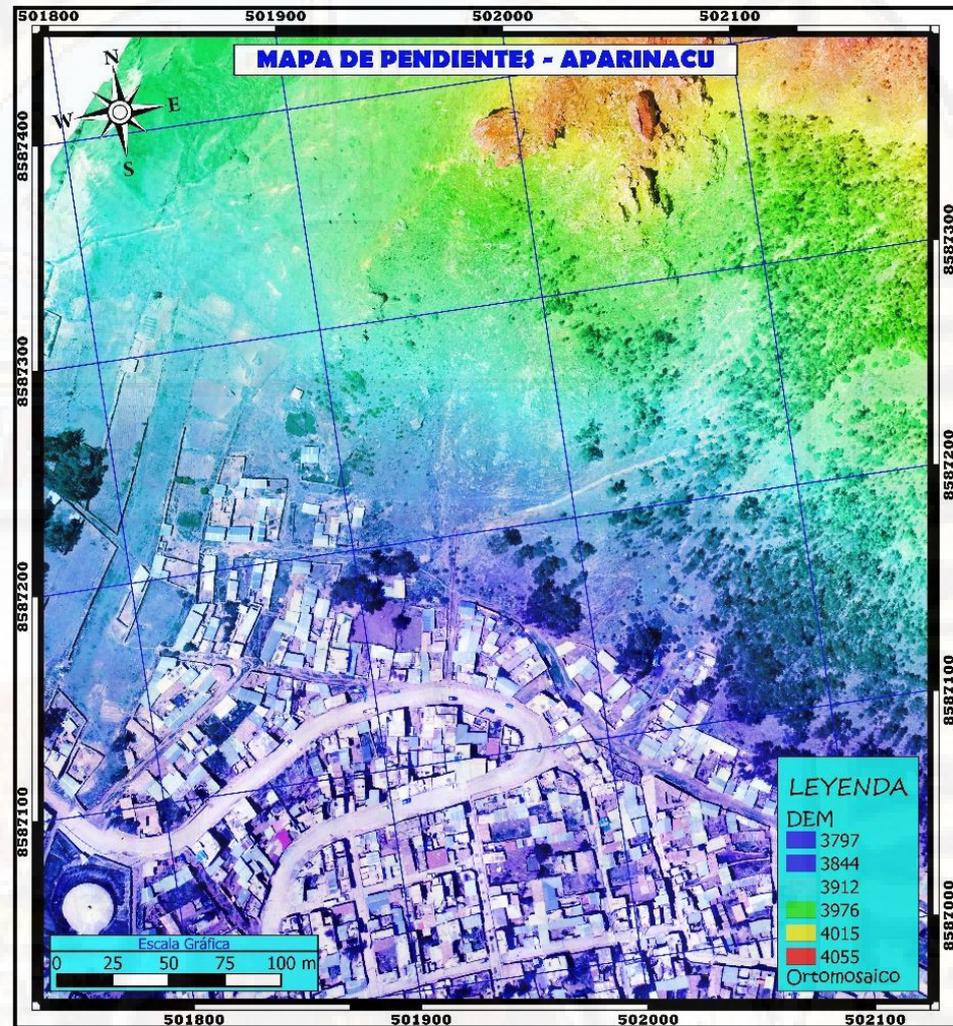


Figura 25. Mapa de pendientes de la zona.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.1.3. Peligros geológicos:

Para identificar las zonas críticas, se hizo varias visitas técnicas a campo, con el propósito de identificar los peligros potenciales como: caída de rocas y erosión de laderas. Además, se pudo evidenciar que los peligros potenciales, antes mencionados, se exponen a las viviendas y familias del área urbana.

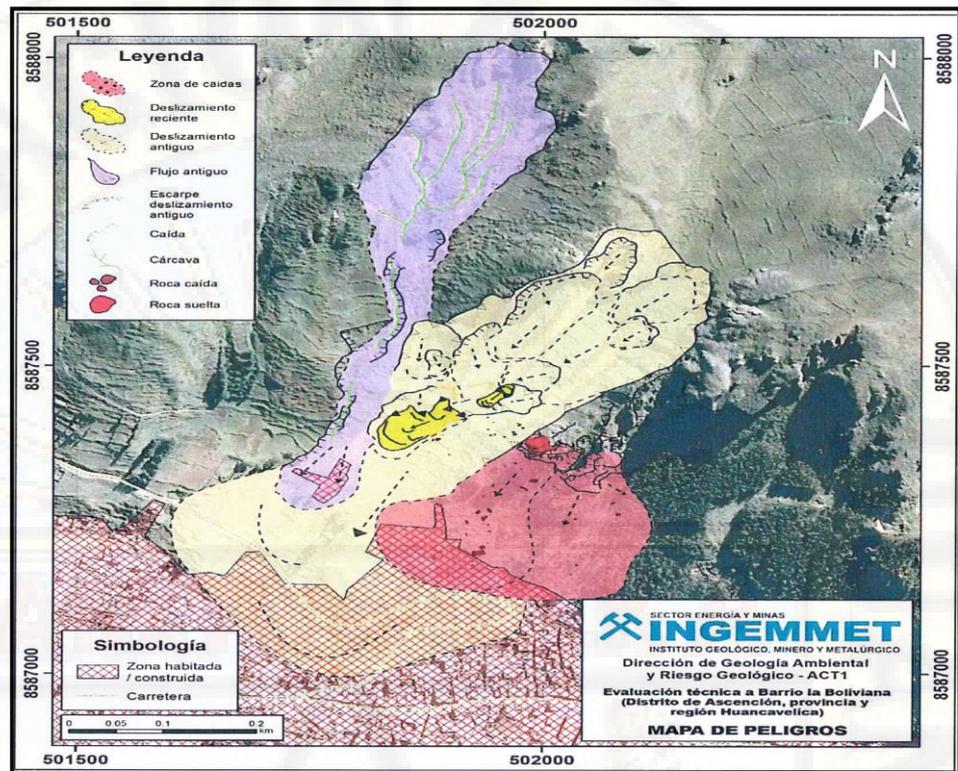


Figura 26. Mapa de peligros del cerro Aparinacu

Fuente: Ingemmet (Gómez & Albinez, 2018)

Gómez & Albinez (2018, pág. 27), señalan que los peligros geológicos son generados por:

- Abrupto relieve de laderas, con pendientes variables entre 41° y 64° .
- Roca maciza muy fracturada.
- Meteorización y erosión de los afloramientos calizas.
- La orientación vertical del macizo rocoso.
- Escasa cobertura vegetal, ladera abajo.
- Precipitaciones pluviales intensas.
- Eventos sísmicos

En la parte baja del cerro Aparinacu, a unos escasos metros de la zona urbana, se encontró evidencias de innumerables desprendimientos de masas rocosas con aproximadamente 4.1 m de diámetro y depósitos coluviales, que se suscitaron años anteriores, tal como se muestran en la siguiente imagen.



Figura 27. Evidencias de masas rocosas desprendidas con presencia de depósitos coluviales.

Fuente: Elaboración propia.

Gracias a las fotografías realizadas por el dron, se puede evidenciar que la litología calcárea que sobresale del cerro Aparinacu, se encuentra muy alterada y fracturada en 07 bloques.

Según Gómez & Albinez (2018, pág. 27) el espaciado puede llegar hasta un aproximado de 5m. Los bloques mencionados comparten puntos de apoyo comunes entre sí, las cuales se sostienen así mismas. Así mismo se pueden mencionar que los bloques tienen sus caras libres principalmente hacia el sur, suroeste y ligeramente al sureste todos ellos se encuentran colgados.

Estos bloques hacen un volumen total de 11608.9m³ (del análisis fotogramétrico), el cual será considerado para poder realizar un análisis de las energías cinéticas. Cabe precisar que gracias a la energía cinética es posible elaborar un mapa de riesgos y proponer alternativas de mitigación adecuada.

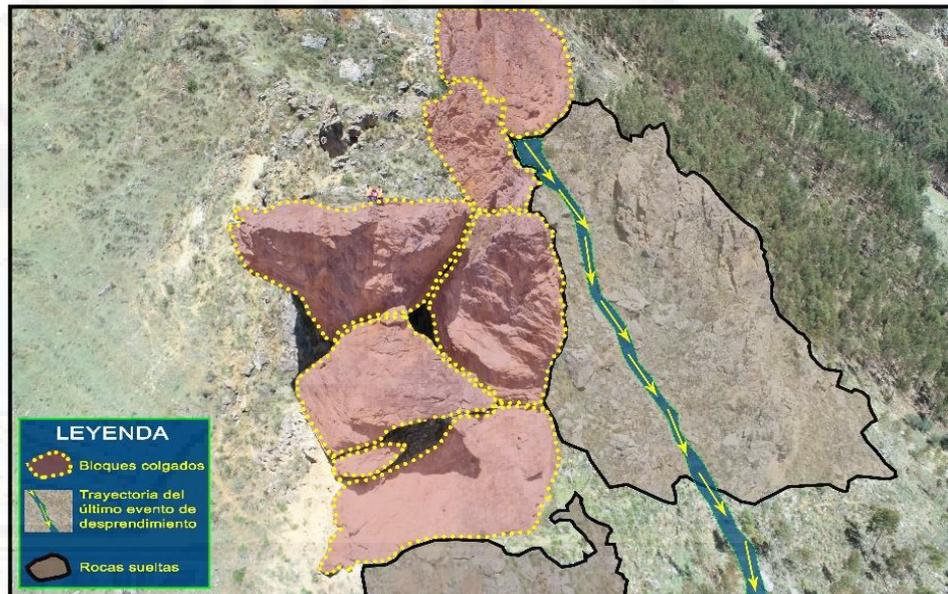


Figura 28. Estado de los bloques sumamente alterada y fracturada, además se evidencia sectores con bloques sueltos.

Fuente: Elaboración propia.

Últimos eventos ocurridos en el cerro Aparinacu de desprendimiento

El pasado 28 de marzo del 2018, suscitó un acontecimiento de desprendimiento de rocas, a causa de las intensas precipitaciones, el desprendimiento inició en el cerro Aparinacu, donde según visita de campo este cerro se encuentra meteorizado, fracturado, alterado con innumerables bloques sueltos. Algunas de estas llegaron a la parte final del canal llegando a afectar viviendas del sector Ccollpayacu.



Figura 29. Roca desprendida cercano a las intersecciones de la Av. Los Libertadores y Pje. Unión – Ascensión.

Fuente: Diario Correo (2018)

Según el Informe Técnico N°A6854 realizado por Gómez & Albinez (2018, pág. 22) profesionales pertenecientes al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, identificaron bloques de rocas desprendidas con diámetros entre 0.5 y 1.2m. Las rocas cayeron desde una altura aproximada 4005m.s.n.m. haciendo un recorrido de distancia aprox. de 230m y una altura de caída final de 170m.

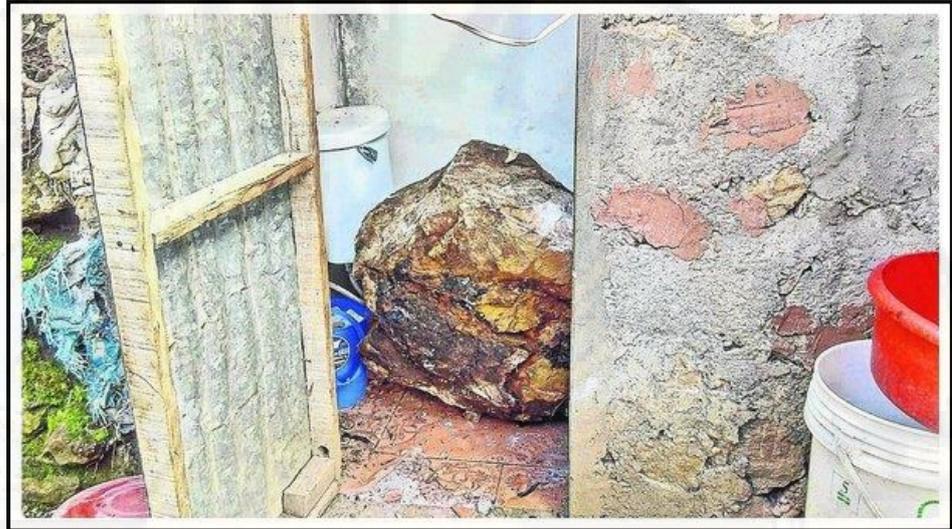


Figura 30. Roca que cayó dentro de una vivienda
Fuente: Diario Correo (2018)



Figura 31. Rocas caídas durante el evento de marzo del 2018.
Fuente: Gómez & Albinez (2018, pág. 23)



Figura 32. Rocas caídas de diámetros entre 0.5m y 1.2m
Fuente: Gómez & Albinez (2018, pág. 24)

4.1.1.1.4. Identificación de trayectorias de las rocas

Se realizó una vista técnica a la zona de estudio para determinar las posibles trayectorias de las rocas. Mostramos a continuación estas trayectorias.

Trayectoria 1

Esta trayectoria cuenta con superficie de suelo con poca vegetación, pendiente promedio de 43.83%. La masa rocosa de donde se desprendió la roca para esta trayectoria, se encuentra altamente meteorizada y propensas a desprenderse en cualquier momento.



Figura 33. Posible Trayectoria 1 de la Roca.

Para esta trayectoria, la roca tiene un volumen de 3.062m^3 , siendo esta la roca de mayor tamaño en su deposición final observada.

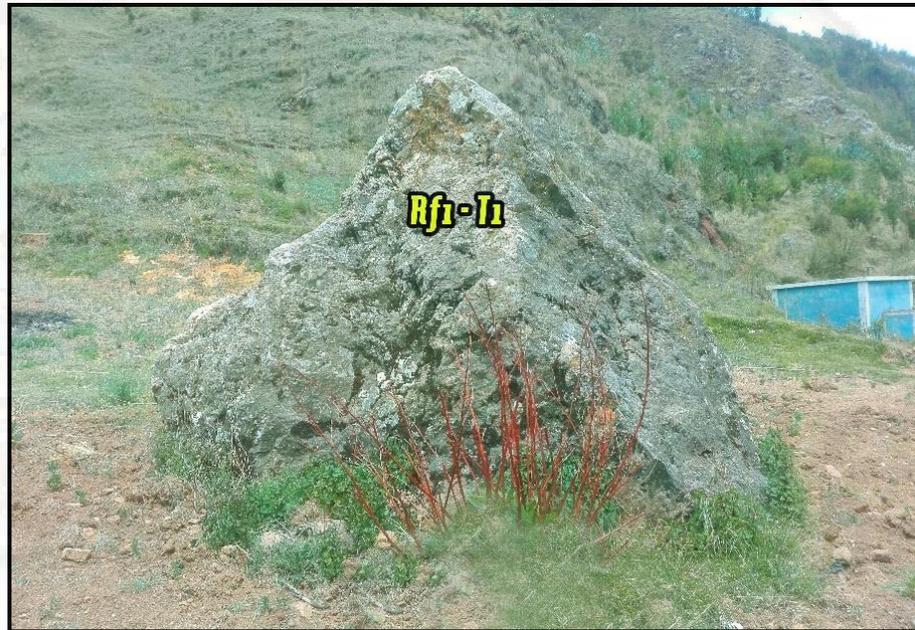


Figura 34. Desplazamiento máximo de la Roca en la posible trayectoria 1.

Trayectoria A

Esta trayectoria presenta una pendiente promedio de 41.75%; cuenta con superficie de suelo con poca vegetación y presencia de rocas. En el supuesto caso que ocurriese un desprendimiento, se verán afectadas las viviendas de materiales rústicos y reservorio de agua potable.



Figura 35. Posible trayectoria A de la roca, asimismo se observa el rastro de las rocas desprendidas, por lo que es de suponer que esa es la trayectoria.

Las rocas desprendidas con anterioridad presentan un volumen de 1.753 m³ identificada durante la visita técnica realizada a campo.

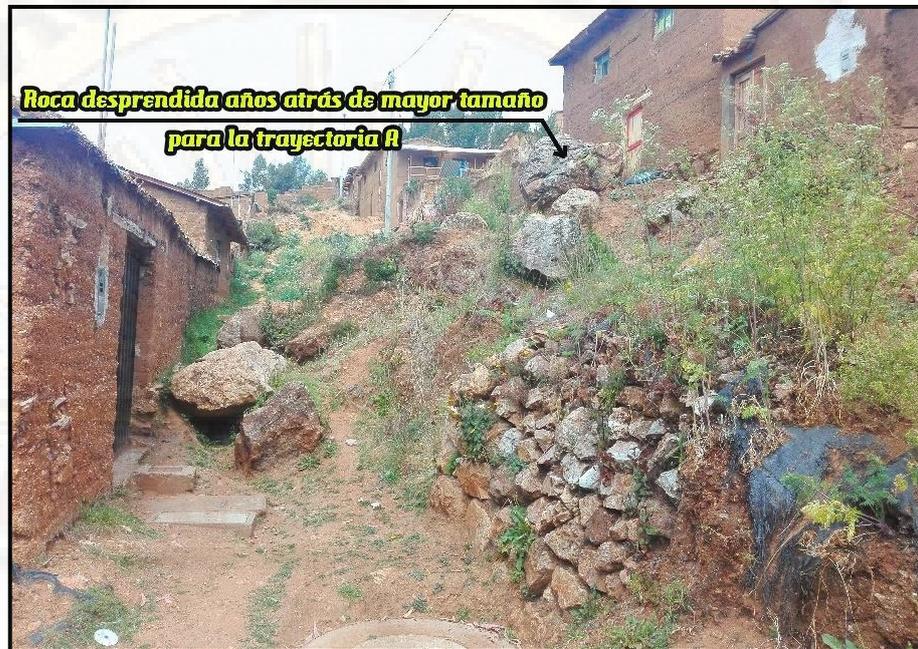


Figura 36. Rocas desprendidas años atrás y asentados.

Trayectoria 2

Esta cuenta con una superficie de rodadura de suelo con poca vegetación, arbustos y una pendiente promedio de 57.67%; además de ello se observa rocas medianas asentadas en su trayecto.



Figura 37. Se muestra la Posible trayectoria 2, para la vivienda afectada por el desprendimiento de roca.

Según el diario Correo (2018), el pasado 28 de marzo se presenció la caída de rocas, la cual es un peligro desde hace 3 décadas atrás, donde la mayoría de las viviendas afectadas, son las viviendas aledañas al cerro Aparinacu y están construidas con material rústico.



Figura 38. Daño material que produjo la caída de rocas en el sector Ccollpayacu.

Trayectoria 3, 4 y 5

En estas trayectorias se aprecian, que las rocas están altamente meteorizadas por diversos factores (Biológico, físicos y químicos) con formas angulosas, que, de desprenderse, afectarían las viviendas situadas en la falda del mencionado cerro.

Su trayectoria presenta: depósitos coluviales de rocas desprendidas años atrás y poca vegetación (plantones, pastos y arbustos), siendo la trayectoria que presenta desprendimientos frecuentes, que ha afectado viviendas.

Sus pendientes promedios son:

- Trayectoria N° 3: 60.35%
- Trayectoria N° 4: 61.58%
- Trayectoria N° 5: 61.78%



Figura 39. Presencia de los fragmentos rocosos en el inicio de la trayectoria 3.

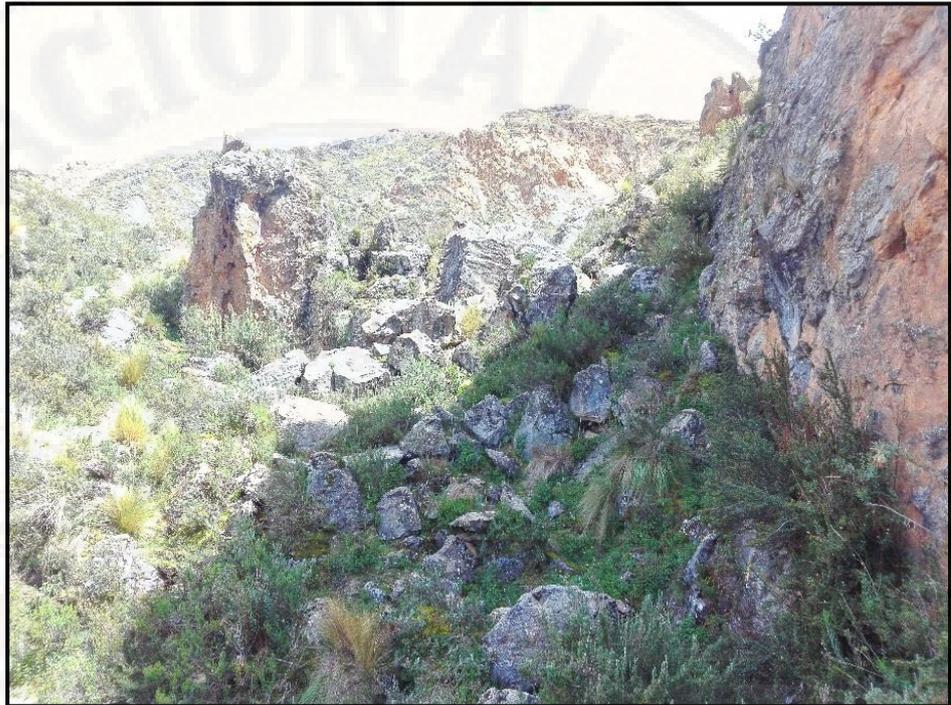


Figura 40. Rocas fragmentadas al inicio de la trayectoria 4.

Al inicio de la trayectoria 5, se observa afloramientos de rocas, donde se encuentra bloques colgados como se observa en la **figura 39**, existiendo la posibilidad de que estos bloques puedan afectar a las viviendas aledañas de la zona urbana de Ccollpayacu.



Figura 41. Bloques de rocas colgadas en la trayectoria 5.

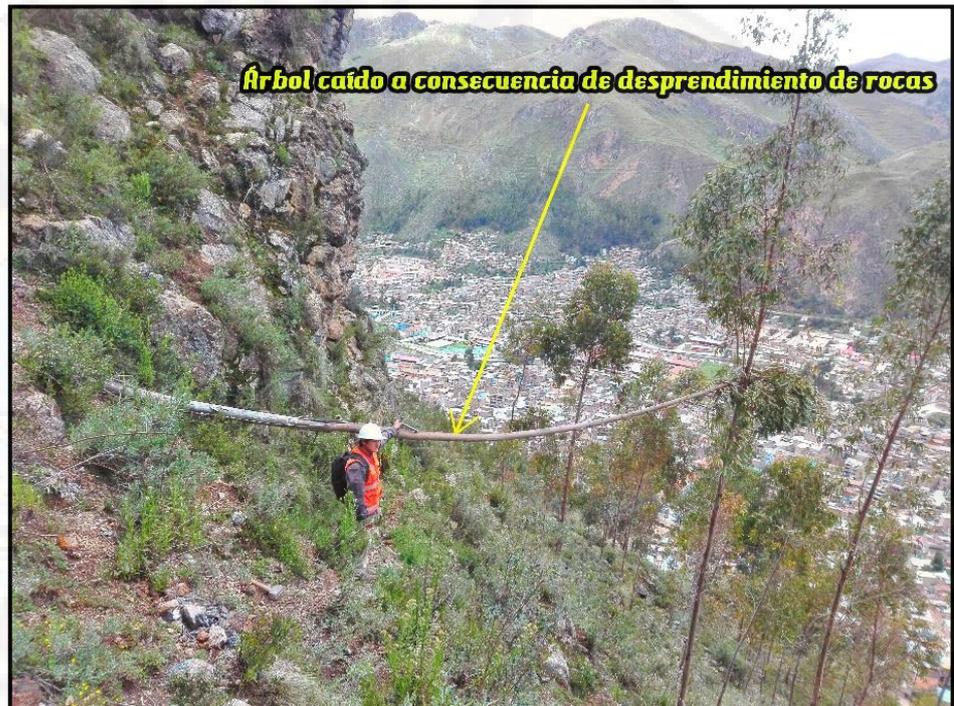


Figura 42. Árbol caído a consecuencia de desprendimiento de rocas.



Figura 43. Deposición final de las rocas de las trayectorias 3,4 y 5.

Trayectoria B

En este trayecto, las rocas que se desprenden tienen una superficie de rodamiento compuesto por suelo con poca vegetación y rocas fracturadas; asimismo cuenta con una pendiente de 52.96%, a continuación, se muestra la posible trayectoria.



Figura 44. Trayectoria B definida por antecedentes ocurridas.

Trayectoria 6

La superficie de esta trayectoria está cubierta mayoritariamente por rocas afloradas y suelos con poca vegetación (pastos, arbustos y eucaliptos), cuyo pendiente promedio es de 64.06%.

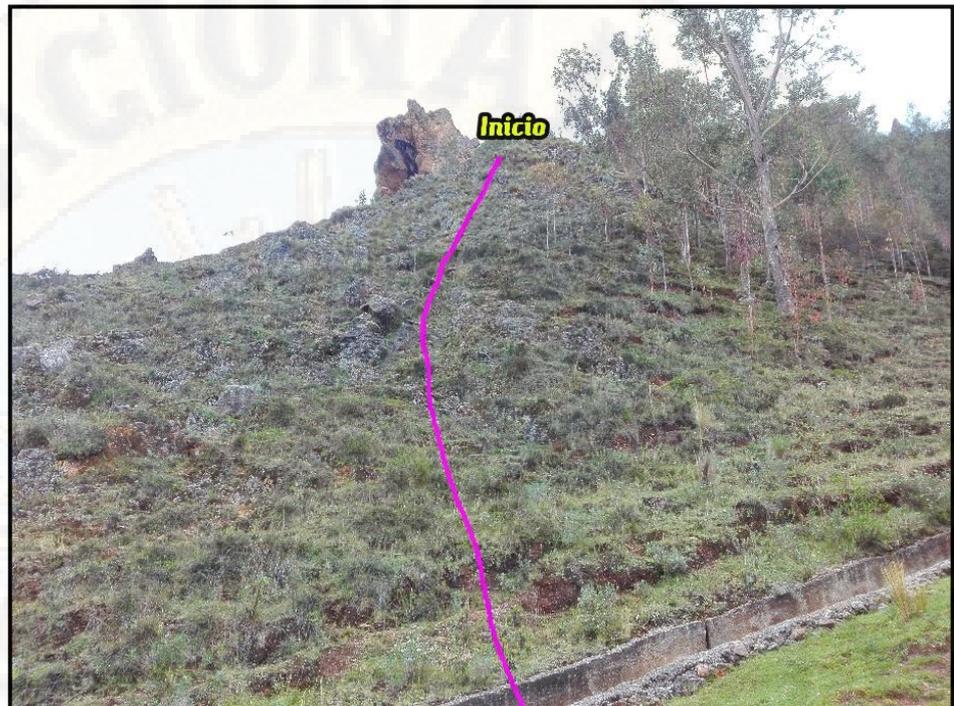


Figura 45. Trayectoria 6 definido por pendientes fuertes.



Figura 46. Bloque retenido por un árbol.

Bloque de roca a consecuencia de la caída de rocas, que llegaron cercanas a los domicilios, la cual fue retenida por un árbol de eucalipto, si no fuese por el árbol, habría ocasionado daños materiales o más aún pérdidas de vidas humanas.

Trayectoria 7 y 8

Esta trayectoria, al inicio, presenta afloramientos rocosos de diferentes formas de dimensiones variables que van desde 2" de ϕ hasta rocas de 1.22m de Largo, 2.15m de alto y 0.33m de ancho. Este fragmento rocoso tiene una alta probabilidad de desprendimiento, a causa de la meteorización.



Figura 47. Macizo rocoso colgado, a punto de desprenderse.

En este recorrido existe tramos de suelo con poca vegetación y árboles de eucalipto, este se reforestó con el fin de que remediara de alguna u otra manera los desprendimientos frecuentes que existen en la zona.

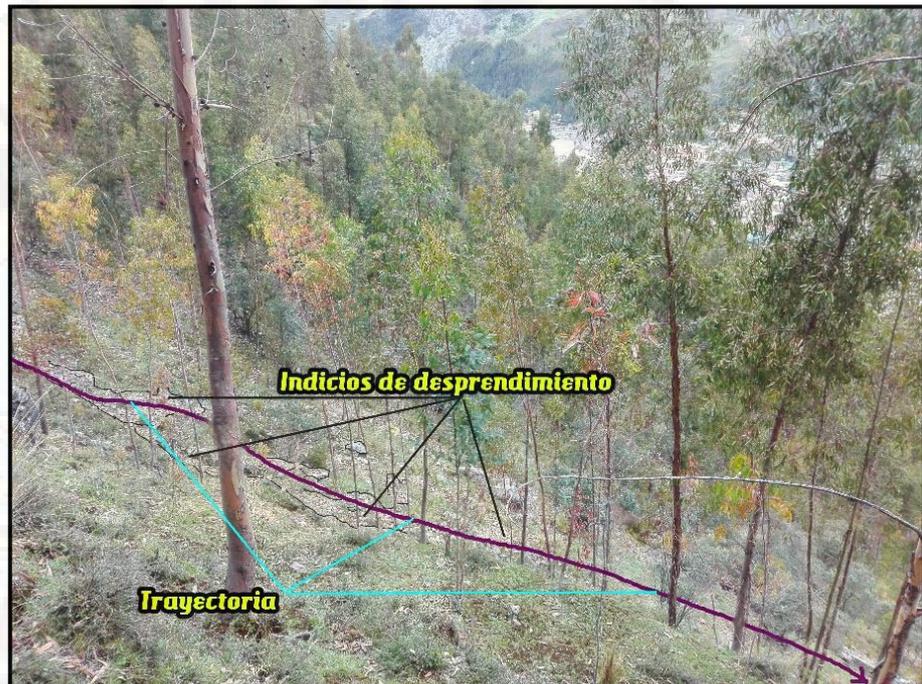


Figura 48. Indicios de desprendimiento.

En el recorrido de las trayectorias 7 y 8, existen rocas retenidas por un canal de concreto ciclópeo y otras que pasan. Asimismo, cabe mencionar que dicho canal no fue construido para la retención de las rocas, sino para la evacuación de las aguas pluviales.



Figura 49. Depósitos coluviales, en las trayectorias 7 y 8.

La roca que se muestra en la **figura 50**, se desprendió décadas atrás y es la que alcanzó probablemente la máxima distancia en esta trayectoria, esta tiene un volumen de 4.066m³.



Figura 50. Roca desprendida décadas atrás.

Esta última trayectoria identificada en campo, está compuesta en su superficie por suelo con vegetación moderada (entre pastos, arbustos y eucaliptos), afloramientos rocosos y depósitos coluviales. También tiene pendientes promedios de 63.00% y 61.03% en las trayectorias de 7 y 8, respectivamente.



Figura 51. Perfil de las trayectorias 7 y 8.

Finalmente, luego de haber hecho un recorrido de toda la zona en estudio, se plasma estas trayectorias identificadas en un plano, las cuales se muestran a continuación.

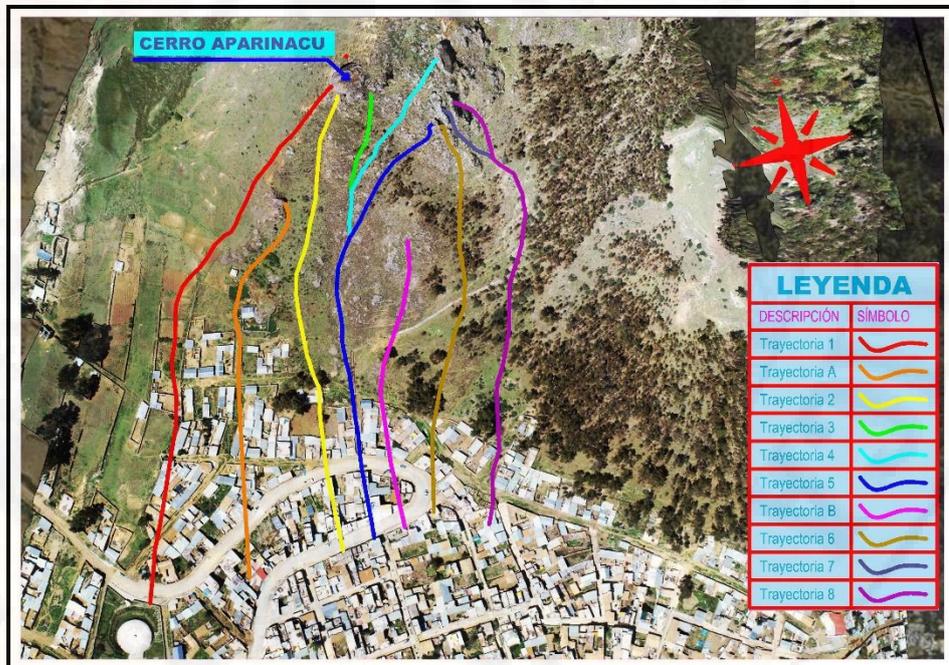


Figura 52. Trayectorias definidas para el análisis de posibles desprendimientos.

4.1.1.2. Estaciones Geomecánicas

Se ha efectuado 05 estaciones geomecánicas para la clasificación de las rocas por el método Q de Barton, obteniendo como resultado siguiente:

Tabla 13. Resumen del mapeo geomecánico.

| RESUMEN DEL MAPEO GEOMECAÍNICO | | | | | |
|--------------------------------|---------|-------|-------|-----------|-----------|
| ESTACIÓN | EG-01 | EG-02 | EG-03 | EG-04 | EG-05 |
| VALOR Q | 9.6 | 2.2 | 1.35 | 0.62 | 0.38 |
| CLASIFICACIÓN | REGULAR | POBRE | POBRE | MUY POBRE | MUY POBRE |

Fuente: Elaboración propia.

Los macizos rocosos en la zona del afloramiento, muestran tipos de roca regular, pobre y muy pobre (según la clasificación de Barton), tal como se muestran en la tabla N° 13; asimismo, estas rocas se encuentran altamente meteorizadas y diaclasadas.

4.1.2. Levantamiento topográfico

En esta etapa del recojo de información, se usó un dron de la Empresa DJI y a la vez un GPS Marca Garmin Modelo 64s Map, con la cual se hizo una planificación de vuelo sobre el área de interés, con la cual se obtuvieron 214 fotografías aéreas.

4.1.2.1. Trabajos de campo

Este trabajo comprende los siguientes procedimientos:

Marca de punto de control: consiste en ubicar un punto cualquiera dentro del área donde se realizará el levantamiento topográfico, pues con estas marcas de control podrá corregirse, en gabinete, las orientaciones en el plano de las fotografías aéreas.



Figura 53. Demarcación de 4 puntos de control, en forma de cruz con yeso. Las cuales deben ser visibles para el drone, luego se procede a tomar las coordenadas UTM con el GPS.

Uso de la aplicación Pix4Dcapture y Ctrl+DJI

Para realizar correctamente el levantamiento topográfico mediante fotografías aéreas con drone del área en estudio, primeramente, se planifica el vuelo realizando la demarcación de terreno a levantar mediante la Aplicación Pix4Dcapture, como segundo paso en controlar o manejar el drone con la Aplicación Ctrl+DJI, estas Apps están disponibles en Google Play.

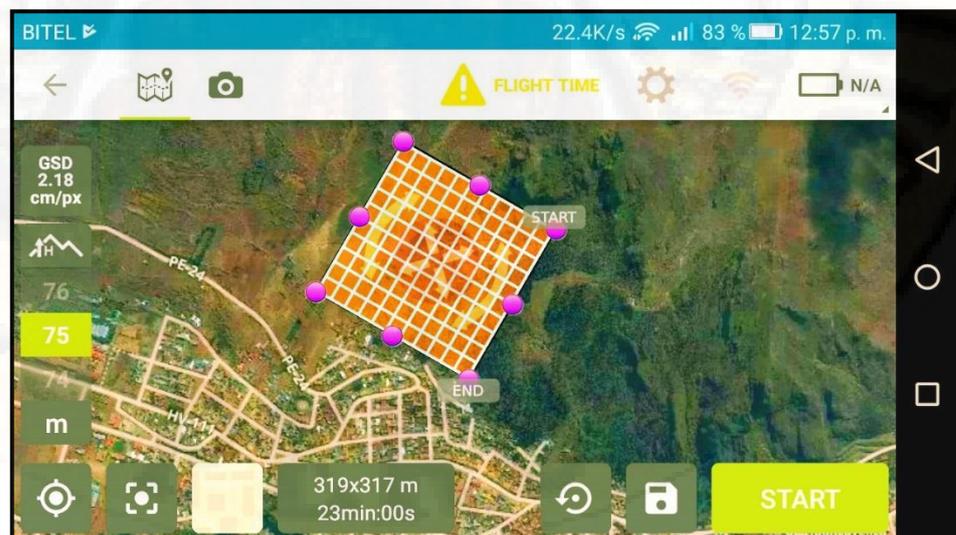


Figura 54. Empezando con la misión de vuelo programado para el estudio.

4.1.2.2. *Trabajos de gabinete*

- **Procesamiento fotogramétrico con AgiSoft PhotoScan**

- Añadir fotos
- Herramienta:>calibrar cámara
- Flujo de trabajo:>orientar fotos
 - Precisión: Alta
 - Pre-procesar emparejamiento: Referencia

Flujo de trabajo:>crear nube de puntos

Flujo de trabajo:>crear malla

Generales:

- Tipo de superficie: bajo relieve/terreno
- Datos fuente: nube de puntos densa
- Número de caras: alta

Avanzado:

- Interpolación: habilitada (por defecto)
- Clases de puntos: todos
- Crear marcas con puntos de control
- Renombrar marcadores
- Importar puntos de control
- Seleccionar todas las fotografías y desmarcar
- En ajustes seleccionar el sistema de coordenadas UTM
- Luego optimizar (por eso se desmarcó) con las opciones por defecto
- Volver a generar nube de puntos densa
- Volver a generar la malla
- Ir a la pestaña de herramientas > nube de puntos densa > clasificar puntos de terreno > clases: desde: creado (nunca clasificado) y los demás valores por defecto y aceptar.
- En la pestaña de archivo ir a exportar puntos > elegir ubicación donde se va guardar con una extensión. las > elegir el sistema de coordenadas > datos fuente: nube de puntos densa > clases de puntos: seleccionar... solamente dejamos el terreno.

- Exportar ortofoto con extensión .tiff y ubicamos la ubicación donde guardaremos.
- Exportar DEM y guardar en la ubicación donde desee.
- Producir informe y guardar.
- **Procesamiento en Autocad Civil 3D para la generación de perfiles topográficos**
 - Configurar la zona del proyecto, en las coordenadas proyectadas UTM WGS84 - 18L.
 - En la pestaña archivo, importar las curvas de nivel en formato .dxf
 - Crear superficie a partir de objetos polilínea.
 - Crear polilíneas por el trazo realizado (en la fase de identificación de posibles trayectorias), en cada cruce con las curvas de nivel.
 - Crear puntos automáticos a partir de polilíneas emplazadas en la superficie.
 - Exportar los puntos generados en formato .csv.
- **Procesamiento en Excel, para la obtención de las coordenadas “X” y “Y”**

Se exporta los puntos realizados en el programa Civil3D en formato Punto, Norte, Este, Descripción y cota con extensión del archivo delimitado por comas (PNEZD.csv) de cada trayectoria definida anteriormente, luego se procede a tratar la información conforme a los requerimientos del programa Rocfall, para lograr tal objetivo se hace el cálculo de distancias entre dos puntos (Norte” Y” y Este” X”), con la fórmula siguiente:

$$D_{i,j} = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2} \quad (4.1.2.2.1)$$

Donde:

$D_{i,j}$ = Distancia entre i y j

X_i, X_j = Coordenada Este de i y j

Y_i, Y_j = Coordenada Norte de i y j

Resultando la siguiente tabla:

Tabla 14. Distancias entre dos puntos, listas para ser graficar el perfil.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------|-------------|------------|----------|-------------|------------------|----------------|
| Punto | Norte | Este | Cota | Descripción | Distancia "X" | Altitud "Y" |
| 1 | 8587343.029 | 501893.487 | 3925.698 | Trayectoria | 0.000 | 3925.698 |
| 2 | 8587342.277 | 501892.919 | 3924.994 | Trayectoria | 0.942 | 3924.994 |
| 3 | 8587341.539 | 501892.362 | 3923.997 | Trayectoria | 0.924 | 3923.997 |
| 4 | 8587340.540 | 501891.608 | 3922.998 | Trayectoria | 1.252 | 3922.998 |
| 5 | 8587339.273 | 501890.387 | 3921.998 | Trayectoria | 1.759 | 3921.998 |
| 6 | 8587338.357 | 501889.505 | 3920.999 | Trayectoria | 1.272 | 3920.999 |
| 7 | 8587337.419 | 501888.666 | 3920.009 | Trayectoria | 1.259 | 3920.009 |
| 8 | 8587336.415 | 501887.769 | 3919.004 | Trayectoria | 1.347 | 3919.004 |
| 9 | 8587335.520 | 501886.960 | 3918.007 | Trayectoria | 1.206 | 3918.007 |
| 10 | 8587334.362 | 501885.903 | 3917.001 | Trayectoria | 1.568 | 3917.001 |
| 11 | 8587333.051 | 501884.705 | 3916.005 | Trayectoria | 1.776 | 3916.005 |

Fuente: Elaboración propia

Donde:

Columna 6: Calculada con la ecuación 4.1.2.2.1 y acumulando distancias.

Columna 7: Altitud de cada punto.

Finalmente se procede a insertar estas coordenadas al Software Rocfall, para su respectivo análisis.

4.1.3. Calibración en el software Rocfall

Se simuló la caída de rocas insitu, con diferentes pesos y formas, con el fin de obtener los valores de coeficientes de restitución (R_n , R_t), para la zona de estudio.



Figura 55. Rocas lanzadas, para el cálculo de los coeficientes restitutiones.

Para modelar se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

- El perfil de contacto donde se realizó la calibración se obtuvo del levantamiento topográfico mencionados en los párrafos anteriores.
- Las rocas tienen formas y pesos diferentes al ser lanzadas y varía según el cuadro siguiente:

Tabla 15. Pesos de las rocas en las diferentes trayectorias

| Peso de las rocas | |
|-------------------|-------------------|
| Trayectorias | Masa Lanzada (Kg) |
| 1 | 20.70 |
| 2 | 10.85 |
| 3 | 9.10 |
| 4 | 1.50 |
| 5 | 1.10 |

Fuente: Elaboración propia

- La rugosidad que presenta dicha superficie es suelo con vegetación tal y como se muestra en la figura anterior.

- Para la simulación en el software se consideró una velocidad inicial de 0.10m/s

4.1.3.1. *Ensayos de campo*

Los ensayos se realizaron en la zona aledañas al cerro Aparinacu, donde fue posible situarse en un lugar de origen para el lanzamiento e identificar las trayectorias finales, tomar distancias, dimensiones, peso de los fragmentos de roca.

La zona de ensayo, se muestra en la figura siguiente:



Figura 56. Zona de calibración de los coeficientes de restitución.

Los materiales usados fueron los siguientes:

- Flexómetro de 5m.
- Comba de 4 Lbs.
- Pintura esmalte.
- Dinamómetro.
- Protector.
- Chalecos.
- Costal.
- Cámara digital.



Figura 57. Materiales utilizados.

Procedimiento:

- Se buscó un lugar adecuado para realizar las pruebas insitu y no afectar viviendas, personas y/o animales durante el ensayo.
- Se seleccionaron rocas de pesos diferentes, como las que se mencionan en la tabla 15.
- Se pesaron las 5 muestras de rocas con ayuda del costal y dinamómetro, asimismo se pintaron para tener una mejor visualización de la trayectoria al momento del recorrido.
- Para dar inicio con el lanzamiento de las rocas, los tesistas se ubicaron como se describe a continuación:
 - Un personal estuvo ubicado en la zona de lanzamiento.
 - El otro personal estuvo fotografiando el recorrido que hizo las rocas.



Figura 58. Vista panorámica del lugar de Prueba.



Figura 59. Rocas de diferentes pesos.



Figura 60. Pesado de las rocas a lanzar.



Figura 61. Lanzamiento de las rocas.

- Por último, se toma la ubicación final de las rocas, con las cual se procederá a dibujar en gabinete las distancias alcanzadas por las mismas.



Figura 62. Ubicación final de las rocas lanzadas.

4.1.3.2. Ajuste de valores de restitución en gabinete

Se muestra a continuación los perfiles de la zona de calibración, para la obtención de los coeficientes de restitución.

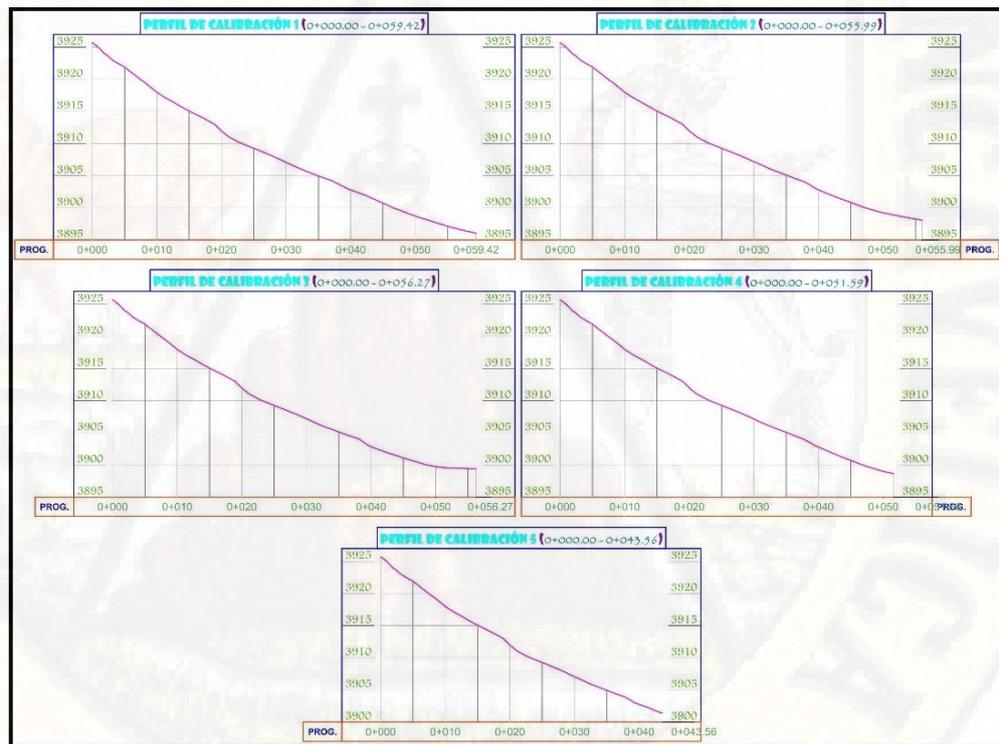


Figura 63. Perfiles de la zona de calibración.

El software Rocfall procesa toda la información recogida en campo para determinar los coeficientes de restitución, asimismo se propuso valores aleatorios de coeficientes de restitución, hasta obtener una distancia igual a las

observadas en campo, dicha distancia corroborará que el valor escogido es el adecuado.

A continuación, se muestra los valores adecuados de coeficientes de restitución, que se adecúan mejor a la zona de estudio.

Tabla 16. Valores tabulados de coeficientes de restitución

| ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE RESTITUCIÓN | | | | | | |
|---|--------------|---------------------|----------------------|-------------|-------------|--------------------|
| Trayectorias | Masa lanzada | Distancia alcanzada | Tipo de superficie | Rn | Rt | Ángulo de fricción |
| | (Kg) | (m) | | | | (°) |
| 1 | 20.7 | 59.422 | Suelo con vegetación | 0.300 | 0.774 | 16.730 |
| 2 | 10.85 | 55.985 | Suelo con vegetación | 0.320 | 0.802 | 14.145 |
| 3 | 9.1 | 56.273 | Suelo con vegetación | 0.320 | 0.848 | 10.270 |
| 4 | 1.5 | 51.595 | Suelo con vegetación | 0.310 | 0.765 | 17.600 |
| 5 | 1.1 | 43.558 | Suelo con vegetación | 0.330 | 0.724 | 21.885 |
| PROMEDIO | | | | 0.32 | 0.78 | 16.13 |

Fuente: Elaboración propia

Para obtener los valores de coeficiente de restitución normal y tangencial en una superficie de suelo con poca vegetación (como es el caso de la zona de calibración), se realizó un promedio aritmético de las 5 trayectorias, el cual servirá como referencia para este tipo de superficie y su modelación posterior de la zona de estudio. En caso de superficies diferentes a esta, se tomará en cuenta los valores recomendados en la *“Tabla del coeficiente de restitución de Rocscience”* y otros autores que realizaron investigaciones similares.

4.1.4. Ensayos de laboratorio

Debido a la complejidad de obtener el peso de la roca en estudio, se recogió muestras de las 8 trayectorias insitu, de roca caliza para su posterior ensayo, basado en la norma ASTM C 29 (Peso volumétrico o unitario de suelos).

Ya que se desconoce el valor exacto del peso específico de la parafina, se realizó un ensayo para la obtención de este valor, como se aprecia en la tabla siguiente.

Tabla 17. Peso específico de la parafina

| PESO ESPECÍFICO DE PARAFINA (gr/cm ³) | | M-01 |
|---|-------------|--------|
| 1 | W tara (gr) | 19.780 |

| | | | |
|---|-----------------|---------|--------|
| 2 | W tara+parafina | (gr) | 34.270 |
| 3 | V parafina | (cc) | 14.787 |
| 4 | g Parafina | (gr/cc) | 0.980 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Peso unitario o volumétrico de las muestras de roca.

| PESO UNITARIO DE SUELOS (gr/cm ³) | | M-01 | M-02 | M-03 | M-04 | M-05 | M-06 | M-07 | M-08 |
|---|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|--------------|---------|---------|---------|
| 1 | γ Parafina (gr/cc) | | | | | 0.980 | | | |
| 2 | W suelo (gr) | 274.320 | 258.250 | 203.170 | 154.100 | 240.650 | 243.240 | 249.030 | 150.100 |
| 3 | W suelo + parafina (gr) | 276.500 | 263.170 | 209.090 | 163.500 | 250.990 | 254.720 | 260.940 | 156.810 |
| 4 | V inicial (cc) | 500.000 | 500.000 | 500.000 | 500.000 | 499.000 | 500.000 | 500.000 | 500.000 |
| 5 | V final (cc) | 605.000 | 608.000 | 583.000 | 572.000 | 607.000 | 605.000 | 608.000 | 565.000 |
| 6 | W parafina : 3-2 (gr) | 2.180 | 4.920 | 5.920 | 9.400 | 10.340 | 11.480 | 11.910 | 6.710 |
| 7 | V suelo + parafina : 5-4 (cc) | 105.000 | 108.000 | 83.000 | 72.000 | 108.000 | 105.000 | 108.000 | 65.000 |
| 8 | V parafina : 6/1 (cc) | 2.225 | 5.021 | 6.041 | 9.593 | 10.552 | 11.715 | 12.154 | 6.847 |
| 9 | V suelo : 7-8 (cc) | 102.775 | 102.979 | 76.959 | 62.407 | 97.448 | 93.285 | 95.846 | 58.153 |
| 10 | γ : 2/9 (gr/cc) | 2.669 | 2.508 | 2.640 | 2.469 | 2.470 | 2.607 | 2.598 | 2.581 |
| PROMEDIO | | | | | | 2.568 | | | |

Fuente: Elaboración propia

De las 8 muestras ensayadas se calcula sus pesos específicos respectivos y se promedia, con el fin de que este valor sea útil para hallar la masa de los fragmentos rocosos, ya que pertenecen a una misma familia.

4.1.5. Análisis y modelación

En el presente estudio, se modelaron con 10 perfiles topográficos de trayectorias identificados por criterios geomorfológicos y eventos ocurridos anteriormente, dicha modelación se hace con el fin de conocer a detalle la ubicación final de los bloques, ante una eventualidad de desprendimiento de rocas.

Las coordenadas para todas las trayectorias se extrajeron del Modelo de Elevación Digital, generados con el Software AgiSoft PhotoScan (todo este procedimiento se explicó en la Sección 4.1.2).

Para la modelación se usaron los valores obtenidos de la calibración del modelo (Sección 4.2) y de la tabla de coeficientes de Rocscience, siendo los siguientes.

Tabla 19. Tabla de Valores de coeficientes de restitución normal y tangencial.

| TABLA DE COEFICIENTES DE RESTITUCIÓN NORMA Y TANGENCIAL | | | | | | |
|---|------|------------------------|---|---|---|--|
| Rn | Rt | Angulo de fricción (°) | Tipo de superficie | Verificación | | |
| 0.35 | 0.85 | 10.11 | Afloramiento de rocas con superficie dura, grandes rocas. | Probado utilizando saltos de roca simulados de tamaño y forma similares a un desprendimiento de rocas anterior. | Glenwood Canyon, Colorado, EE.UU. | Pfeiffer, TJ y Bowen, TD, "Simulación por ordenador de saltos de rocas". Boletín de la Asociación de Geólogos de Ingeniería. Vol. 26, No. 1. 1989. pp135-146. / ROCSCIENCE |
| 0.4 | 0.9 | 6.37 | Pavimento de superficie dura / rígido | | | |
| 0.32 | 0.78 | 16.13 | Suelo con poca vegetación | Calibrado en la zona de estudio con rocas de diferentes tamaños, simulando desprendimientos de rocas | Sector de Ccollpayacu - distrito de Ascención - Huancavelica - Huancavelica | Propios de esta tesis (en la sección 4.2: Calibración en el Software Rocfall para la obtención de los parámetros Rn y Rt) |
| 0.4 | 0.9 | 6.37 | Techo de concreto | Probado utilizando saltos de roca simulados de tamaño y forma similares a un desprendimiento de rocas anterior. | Glenwood Canyon, Colorado, EE.UU. | Pfeiffer, TJ y Bowen, TD, "Simulación por ordenador de saltos de rocas". Boletín de la Asociación de Geólogos de Ingeniería. Vol. 26, No. 1. 1989. pp135-146 / ROCSCIENCE |

Fuente: Rocscience y elaboración propia.

Para el cálculo del ángulo de fricción se usa la fórmula siguiente:

$$\text{Ángulo de Fricción } (^\circ) = \frac{1 - Rt}{Rt} * \frac{180}{\pi}$$

Dónde:

Rt = Coeficiente de Restitución Tangencial.

Cabe señalar que si asumimos los valores cercanos a cero, son más conservadores (Es decir, las rocas suelen a moverse ladera abajo aún más y proporciona una manera más rápida de simular el “peor de los casos”), (Rocscience, 2003, pág. 6).

Rugosidad de la pendiente es la que se utiliza para modelar las variaciones locales en la geometría, pero son insignificantes para bloques de dimensiones considerables, por ello que en esta tesis se propone una rugosidad de cero y así podemos obtener una distancia máxima de alcance.

Condiciones iniciales:

Las velocidades iniciales en ambos ejes se decidieron considerar 0.1m/s (para simular se requiere una acción de movimiento desestabilizador de la roca en reposo). según (Warren, 1998).

Dimensiones, volumen y peso de las rocas: de las visitas al lugar de estudio se procedió a medir las dimensiones de los bloques, luego de hacer un cálculo obtendremos los volúmenes y consecuentemente calcularemos los pesos para cada uno de los casos, con la siguiente ecuación:

$$W = \gamma * V$$

Donde:

W = Peso de la roca (Tn).

γ = Peso específico de la roca (2.568 Tn/m3).

V = Volumen de la roca (m3).

Además, señalamos que se tomaron en cuenta los pesos de las rocas que tuvieron mayor alcance y de mayor tamaño, ya que este es un indicio de que caen rocas de esas dimensiones.

Tabla 20. Dimensiones, volumen y pesos de las rocas

| Dimensiones, volumen y pesos de las rocas | | | | | |
|--|----------------------------------|-----------|----------|--------------|-----------|
| Trayectorias | Largo (m) | Ancho (m) | Alto (m) | Volumen (m3) | Peso (Tn) |
| 1 | Calculado mediante fotogrametría | | | 3.062 | 7.863 |
| A | Área | 2.233 | 0.785 | 1.753 | 4.501 |
| 2 | 2.5 | 1.35 | 1.5 | 5.063 | 13.001 |
| 3 | 0.95 | 0.56 | 0.44 | 0.234 | 0.601 |
| 4 | 0.95 | 0.56 | 0.44 | 0.234 | 0.601 |
| 5 | 0.95 | 0.56 | 0.44 | 0.234 | 0.601 |
| B | 0.92 | 0.36 | 0.29 | 0.096 | 0.247 |
| 6 | 0.58 | 0.37 | 0.16 | 0.034 | 0.088 |

| | | | | | |
|---|------|-------|------|-------|-------|
| 7 | Área | 1.815 | 1.13 | 2.051 | 5.267 |
| 8 | Área | 1.815 | 1.13 | 2.051 | 5.267 |

Fuente: elaboración propia

Velocidad angular también se considera cero, porque la roca o bloque parte del reposo. según (Warren, 1998).

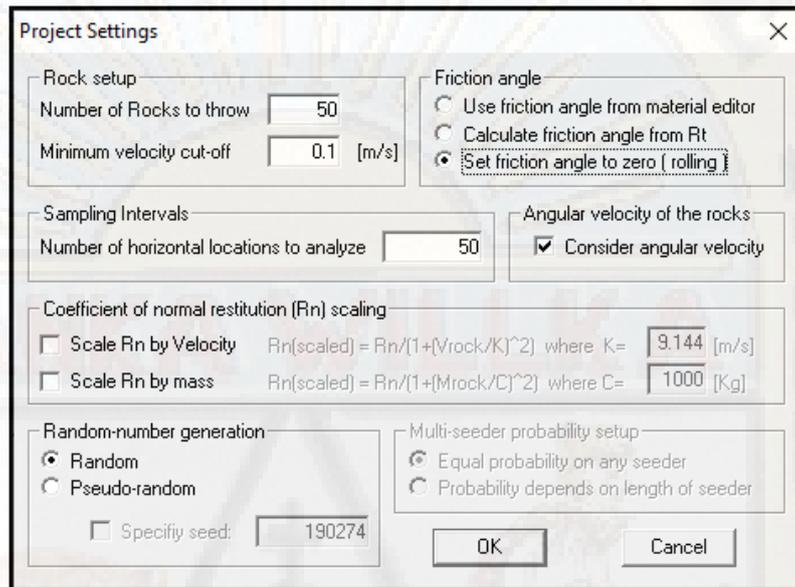


Figura 64. Configuración de proyecto.

Para el modelamiento se utilizó una cantidad de 50 rocas, la velocidad mínima de parada y el número de localizaciones horizontales para el análisis será igual a la distancia total en metros de cada trayectoria. Asimismo, se considera la velocidad angular. según (Warren, 1998).

Una vez realizado los pasos antes mencionados se procedió a ejecutar el software Rocfall.

4.1.5.1. Modelación en software Rocfall sin barrera dinámica

A continuación, se muestran resultados de la: ubicación horizontal de los puntos finales de las rocas, energía cinética total y altura de rebote de las rocas, para cada una de las 10 trayectorias definidas. Y los otros resultados como las gráficas y datos de velocidad rotacional, velocidad traslacional, energía cinética rotacional y energía cinética traslacional.

TRAYECTORIA N°1

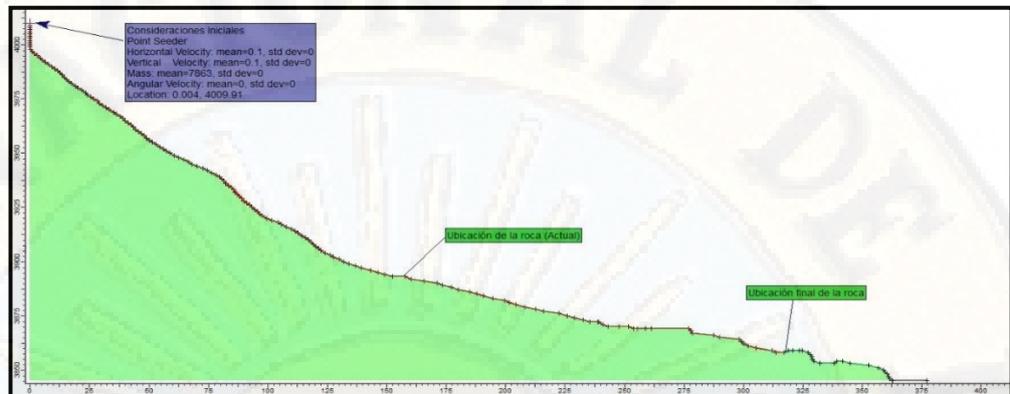


Figura 65. Modelado de caída de rocas T-1.

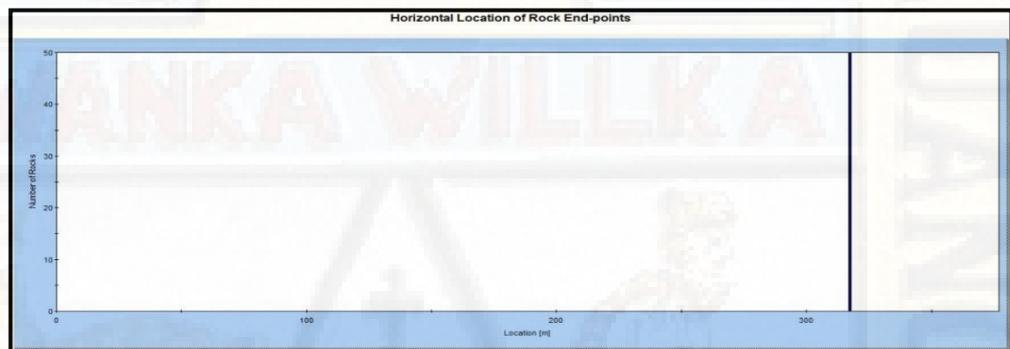


Figura 66. Gráfica de la localización final de las rocas T-1.

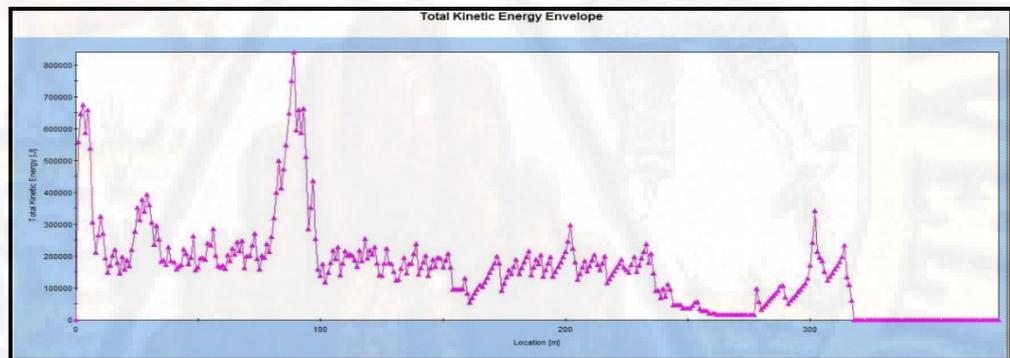


Figura 67. Gráfica de la energía cinética total T-1.

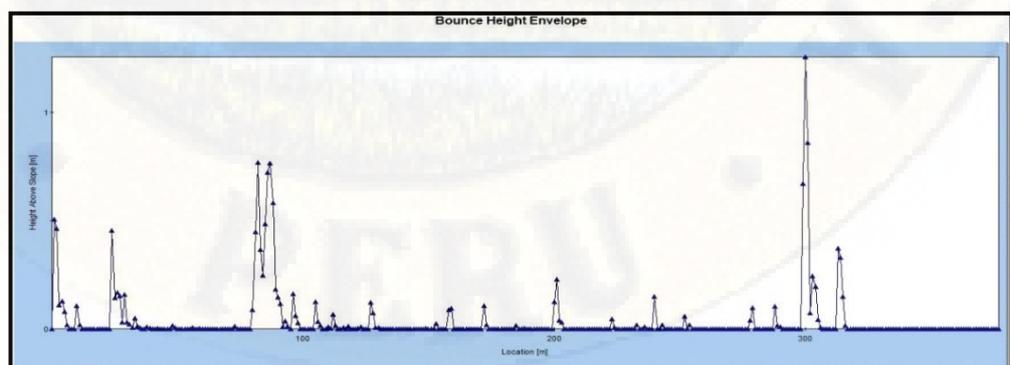


Figura 68. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-1.

TRAYECTORIA N°2



Figura 69. Modelado de caída de rocas T-2.

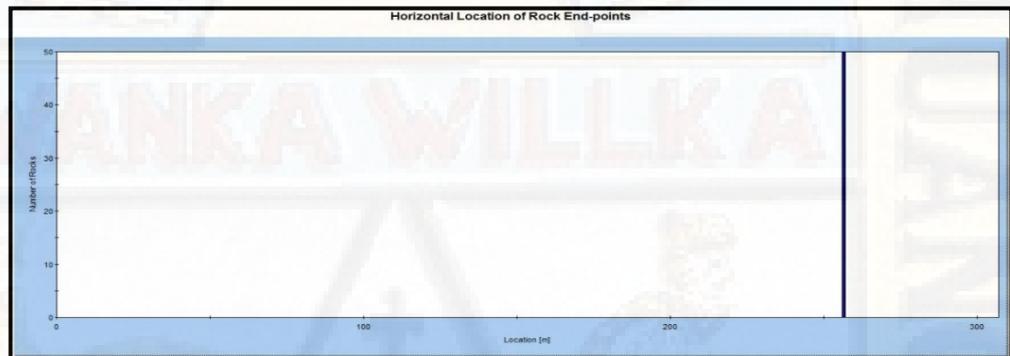


Figura 70. Gráfica de la localización final de las rocas T-2.

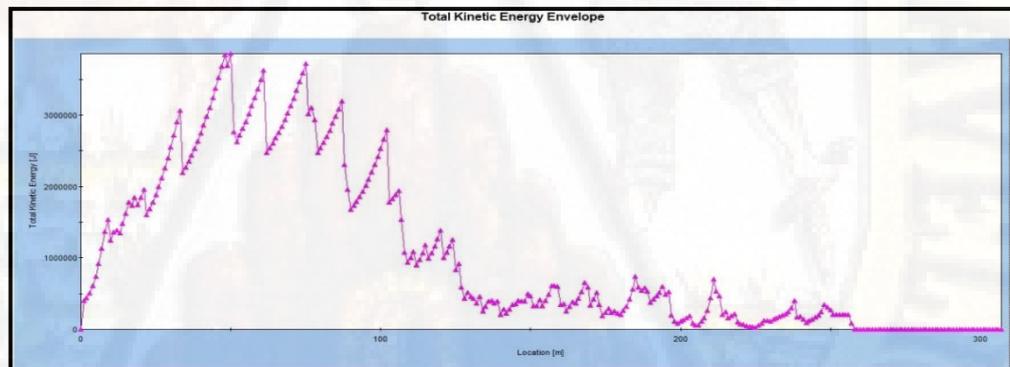


Figura 71. Gráfica de la energía cinética total T-2.

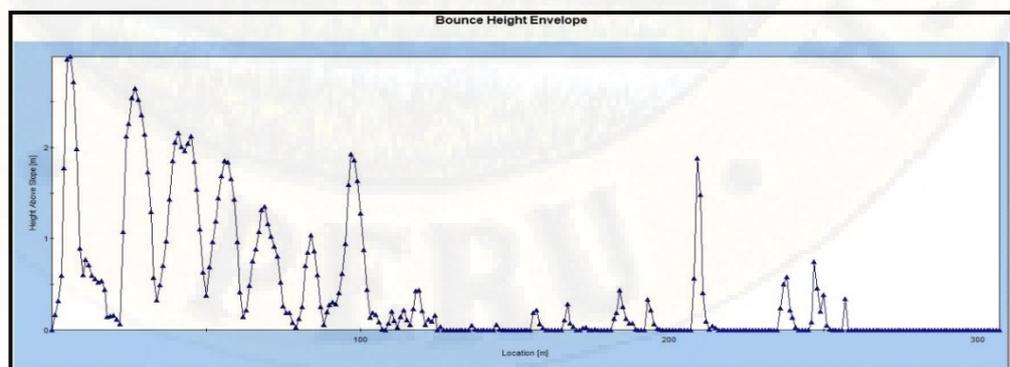


Figura 72. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-2.

TRAYECTORIA N°3

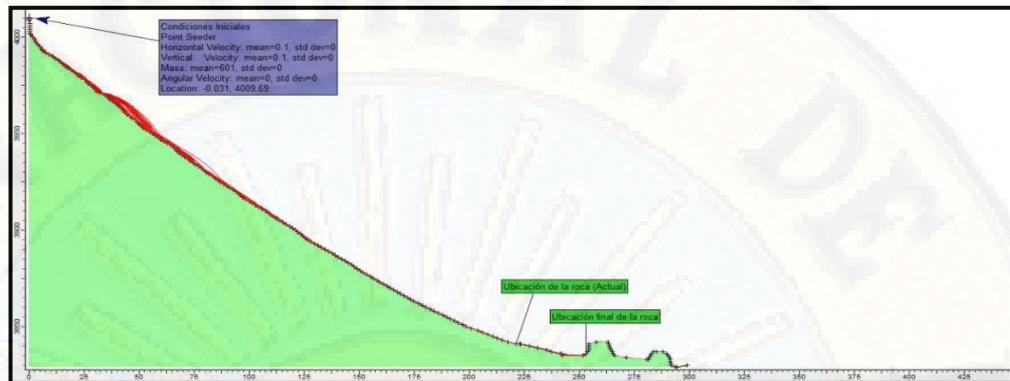


Figura 73. Modelado de caída de rocas T-3.

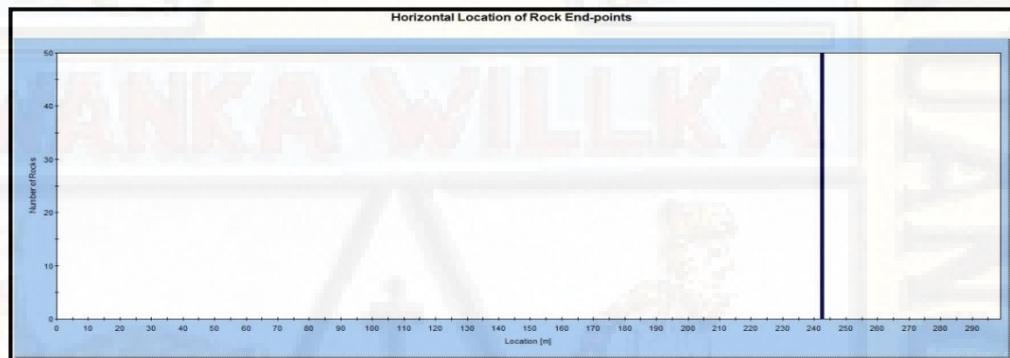


Figura 74. Gráfica de la localización final de las rocas T-3.

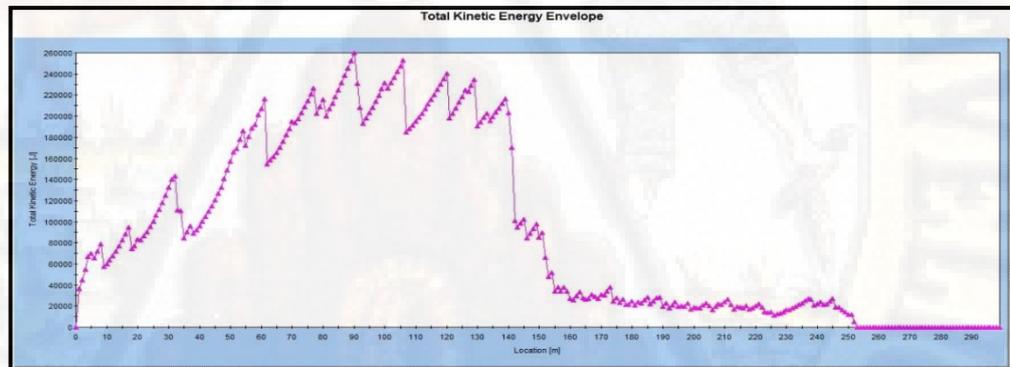


Figura 75. Gráfica de la energía cinética total T-3.

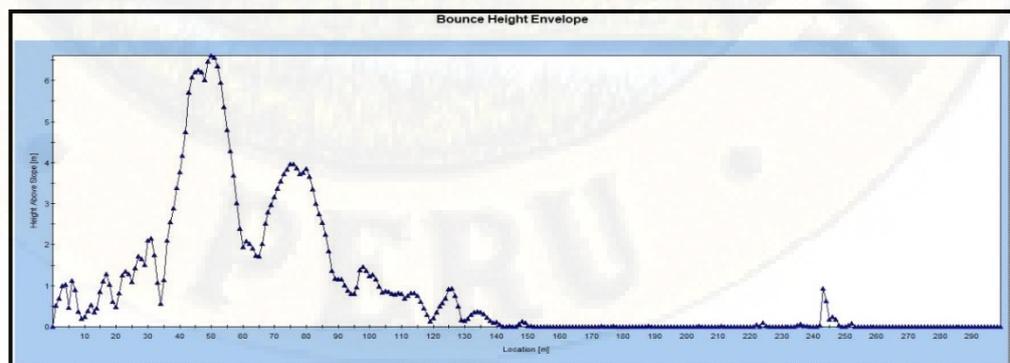


Figura 76. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-3.

TRAYECTORIA N°4

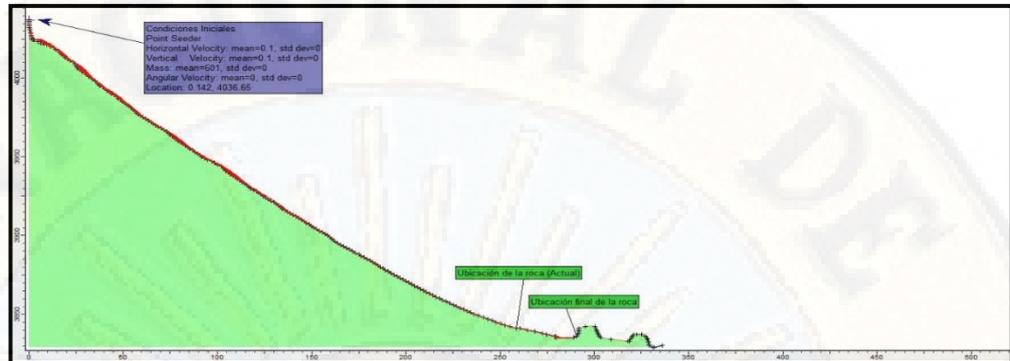


Figura 77. Modelado de caída de rocas T-4.

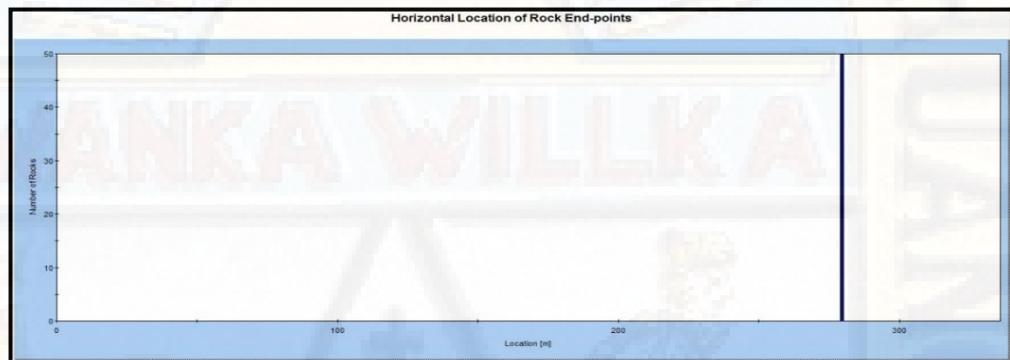


Figura 78. Gráfica de la localización final de las rocas T-4.

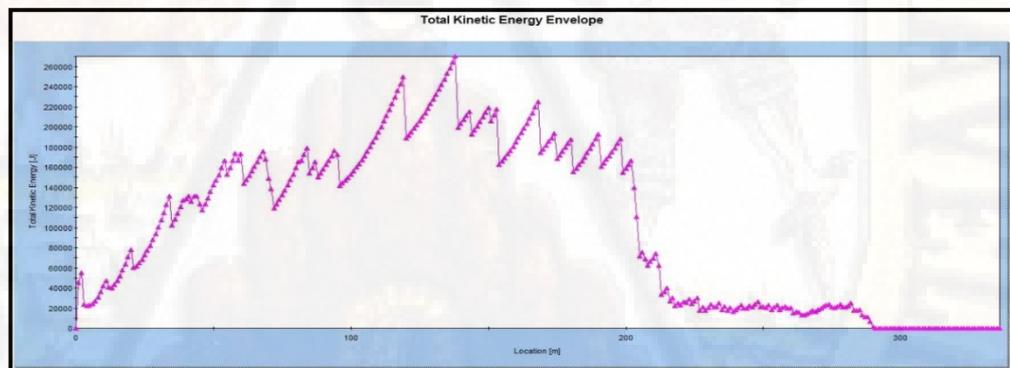


Figura 79. Gráfica de la energía cinética total T-4.

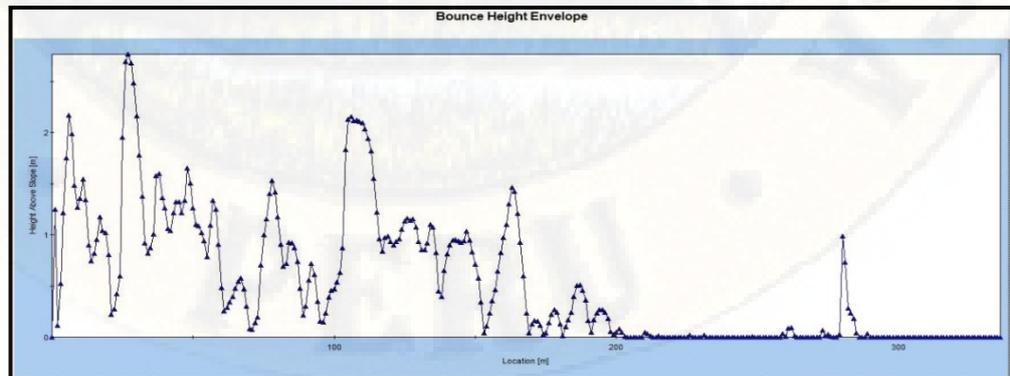


Figura 80. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-4.

TRAYECTORIA N°5

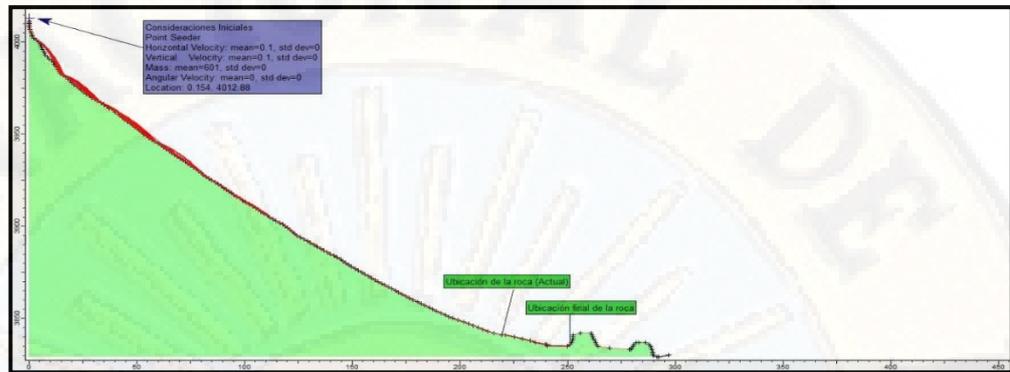


Figura 81. Modelado de caída de rocas T-5.

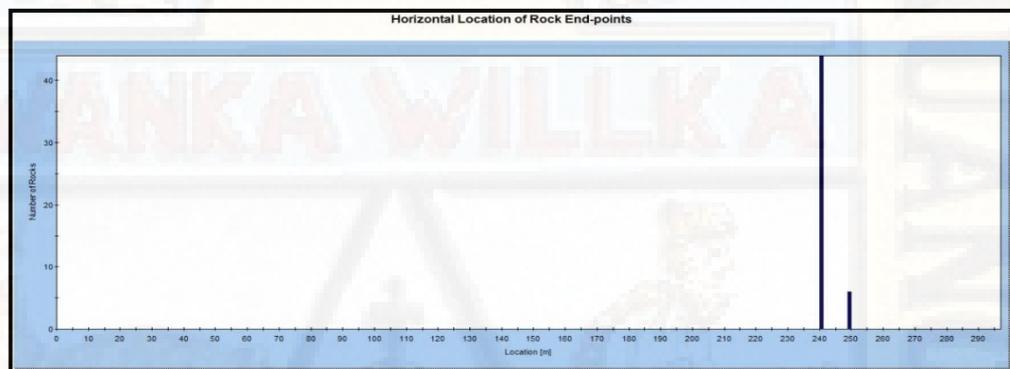


Figura 82. Gráfica de la localización final de las rocas T-5.

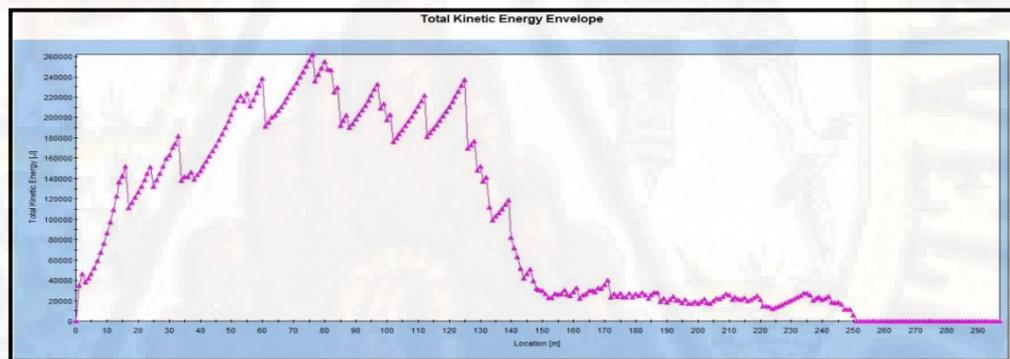


Figura 83. Gráfica de la energía cinética total T-5.

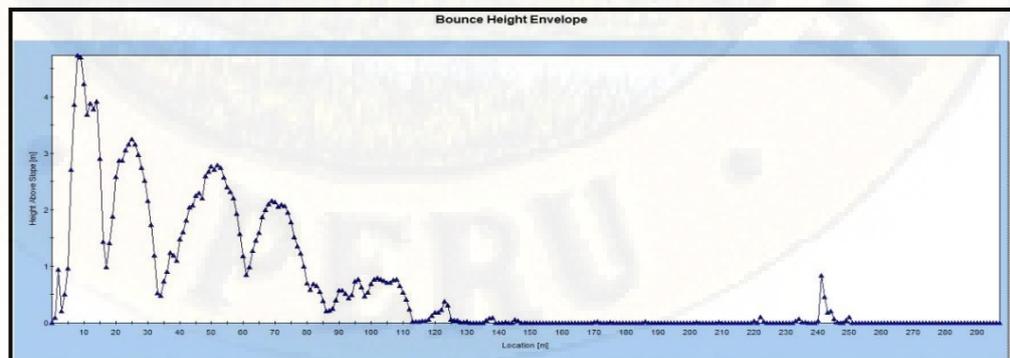


Figura 84. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-5.

TRAYECTORIA N°6



Figura 85. Modelado de caída de rocas T-6.

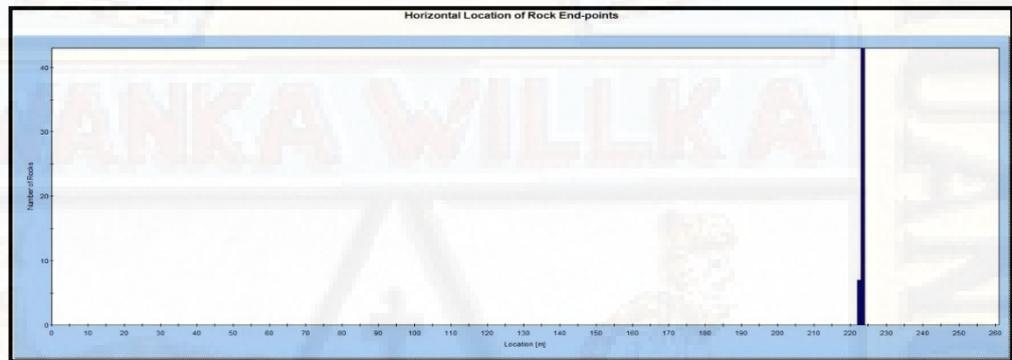


Figura 86. Gráfica de la localización final de las rocas T-6.

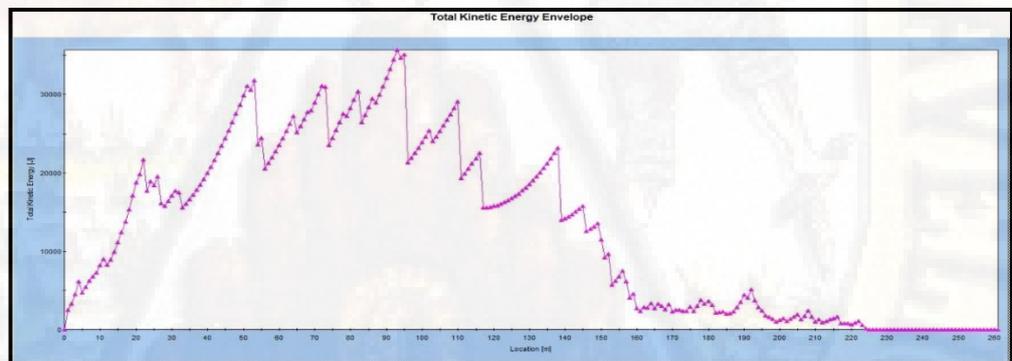


Figura 87. Gráfica de la energía cinética total T-6.

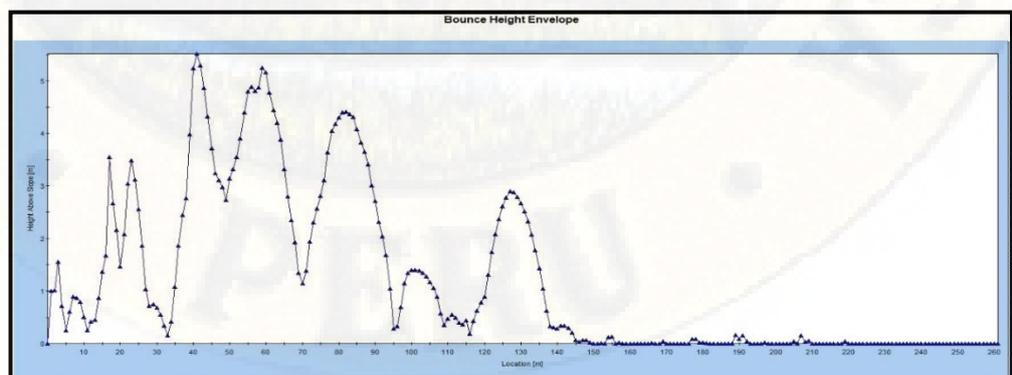


Figura 88. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-6.

TRAYECTORIA N°7

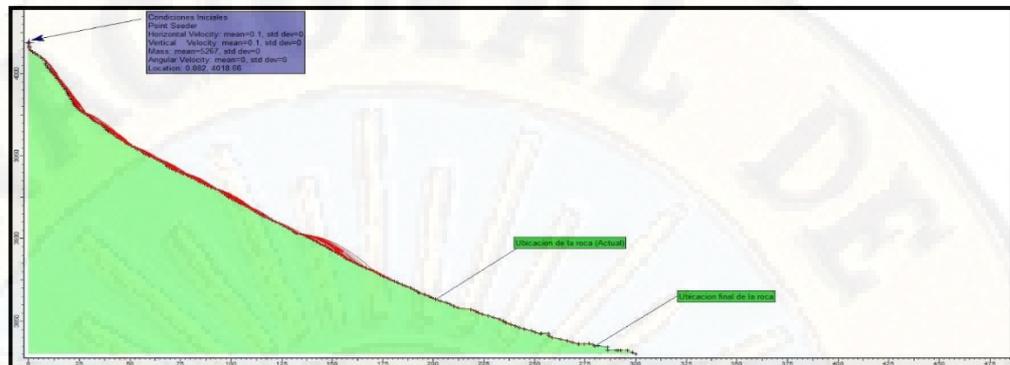


Figura 89. Modelado de caída de rocas T-7.

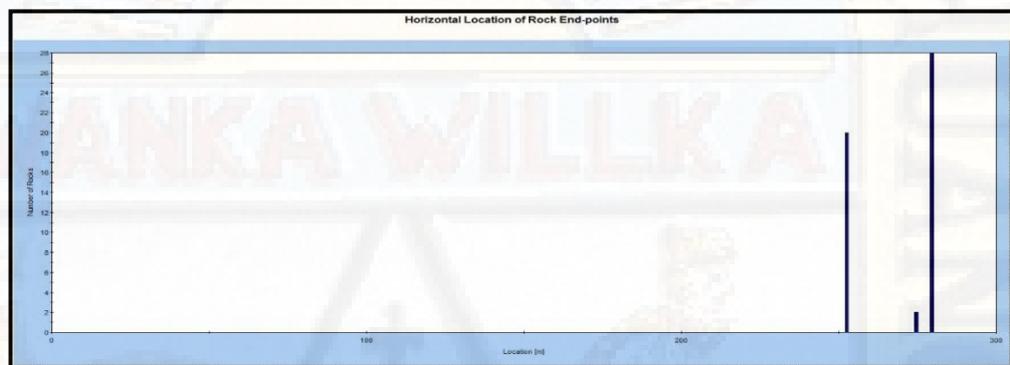


Figura 90. Gráfica de la localización final de las rocas T-7.

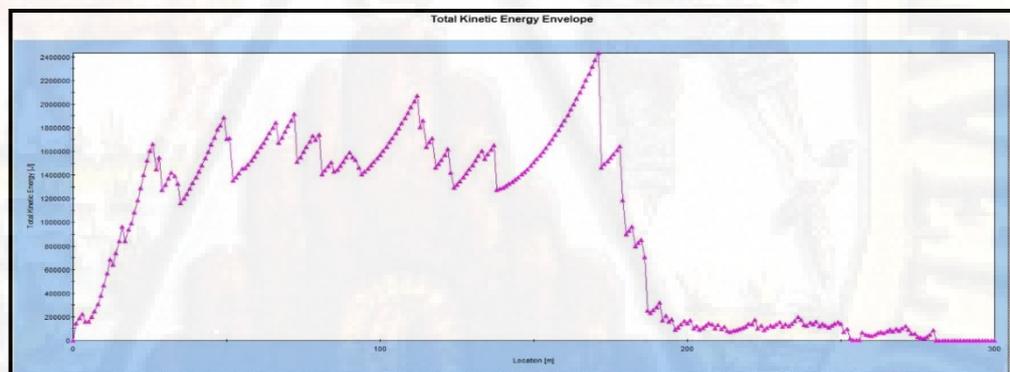


Figura 91. Gráfica de la energía cinética total T-7.

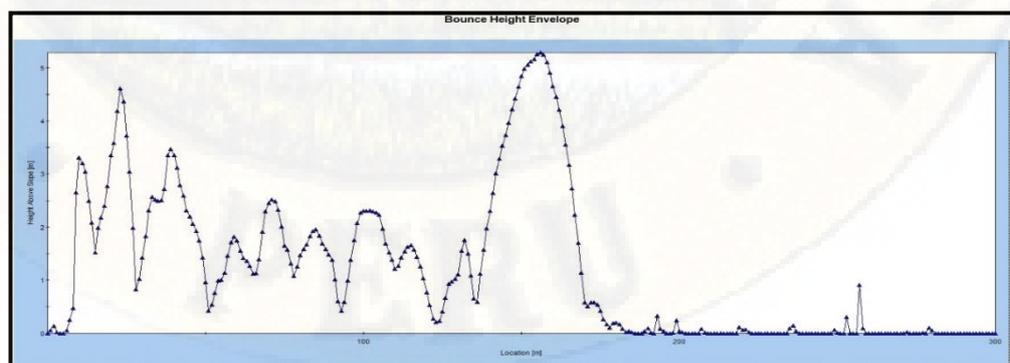


Figura 92. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-7.

TRAYECTORIA N°8

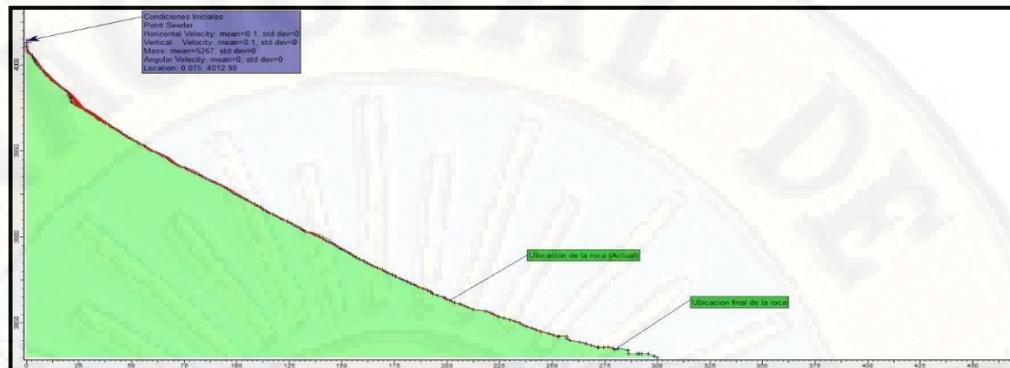


Figura 93. Modelado de caída de rocas T-8.

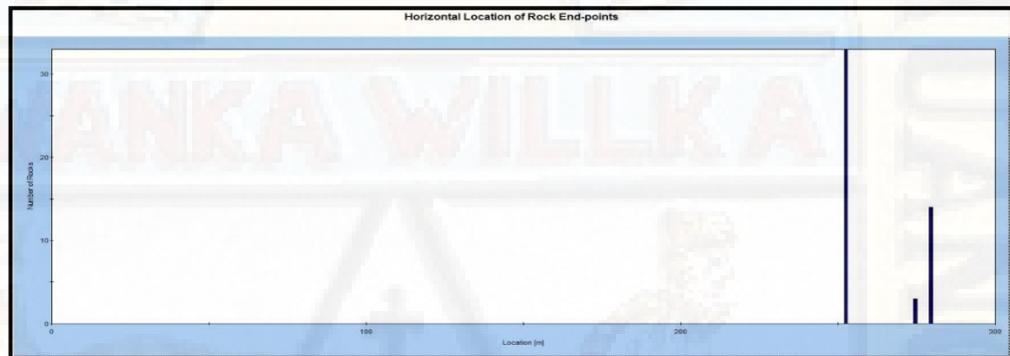


Figura 94. Gráfica de la localización final de las rocas T-8.

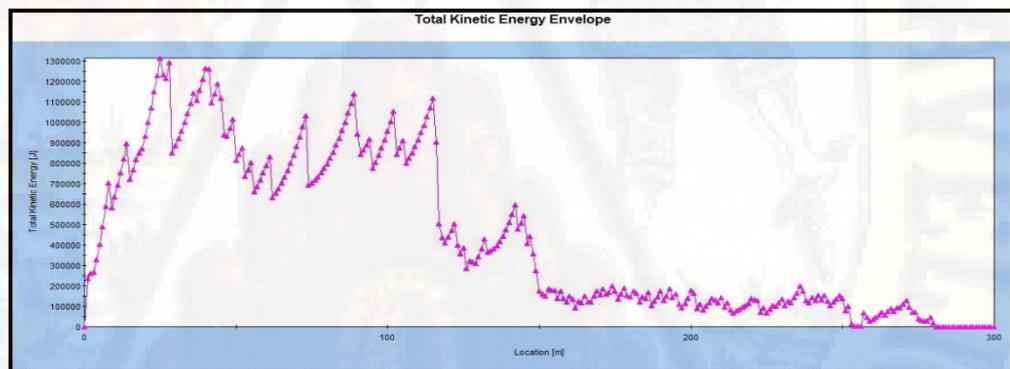


Figura 95. Gráfica de la energía cinética total T-8.

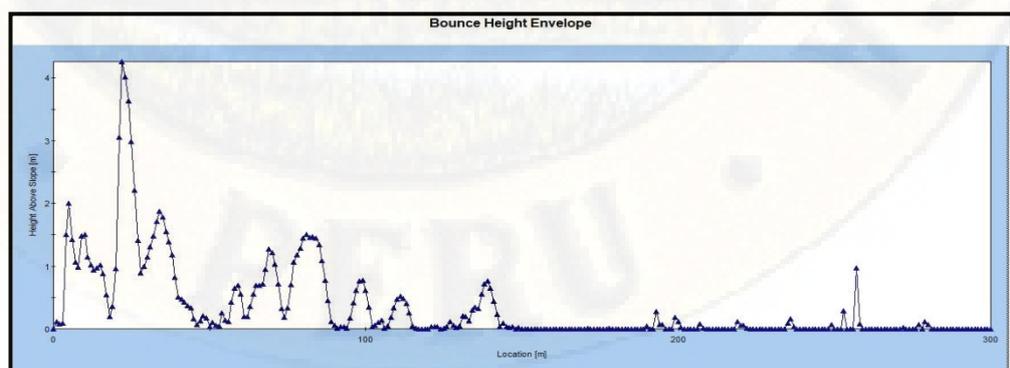


Figura 96. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-8.

TRAYECTORIA N°A



Figura 97. Modelado de caída de rocas T-A.

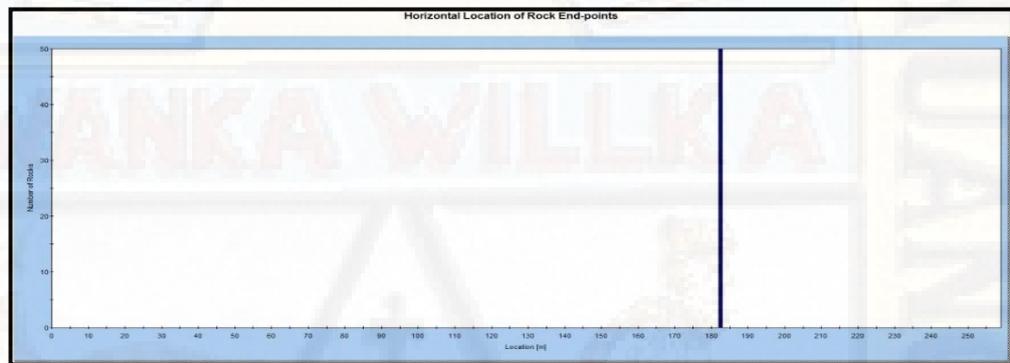


Figura 98. Gráfica de la localización final de las rocas T-A.

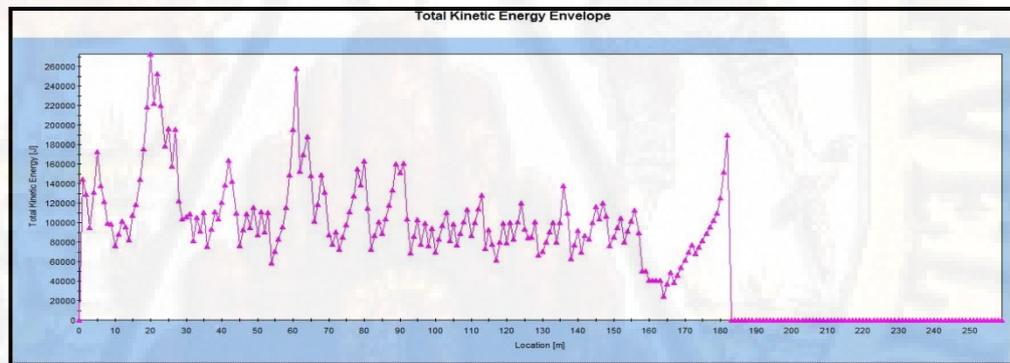


Figura 99. Gráfica de la energía cinética total T-A.

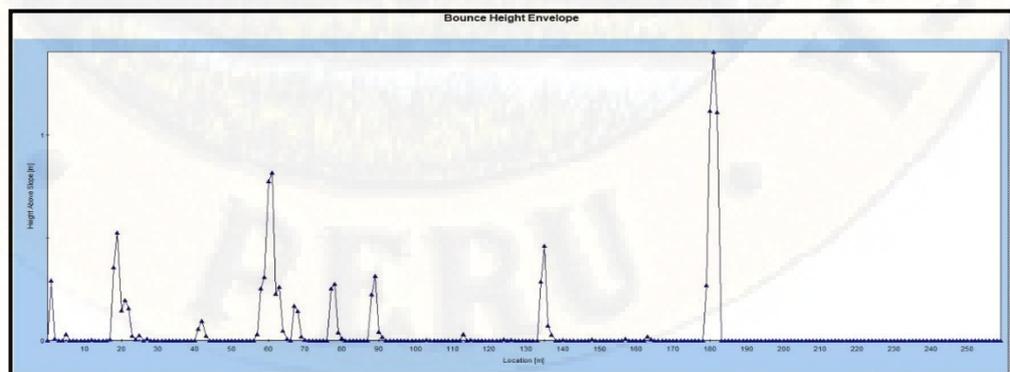


Figura 100. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-A.

TRAYECTORIA B

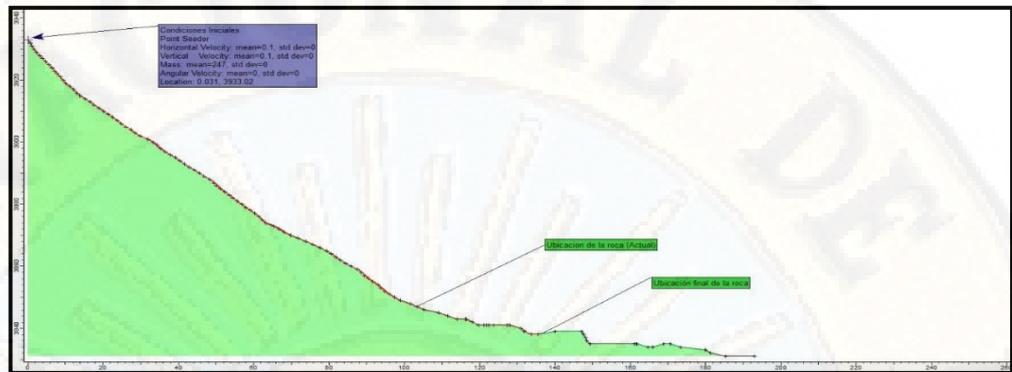


Figura 101. Modelado de caída de rocas T-B.

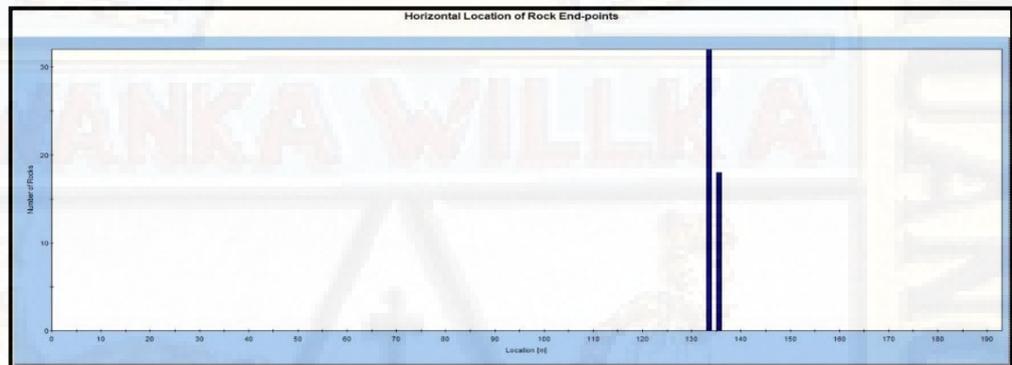


Figura 102. Gráfica de la localización final de las rocas T-B.

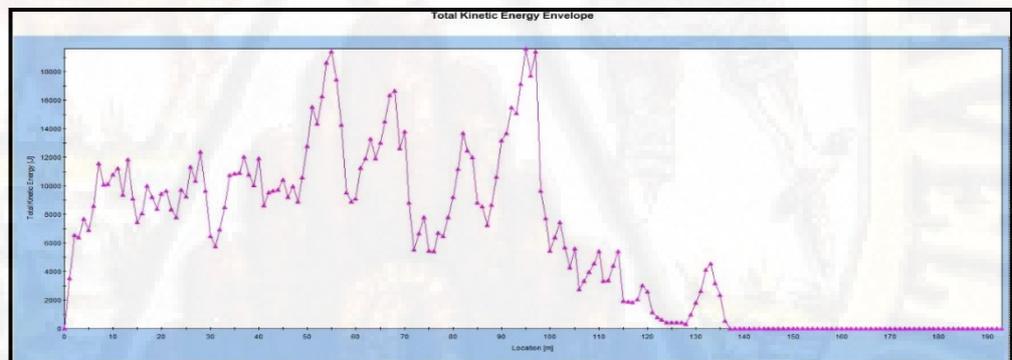


Figura 103. Gráfica de la energía cinética total T-B.

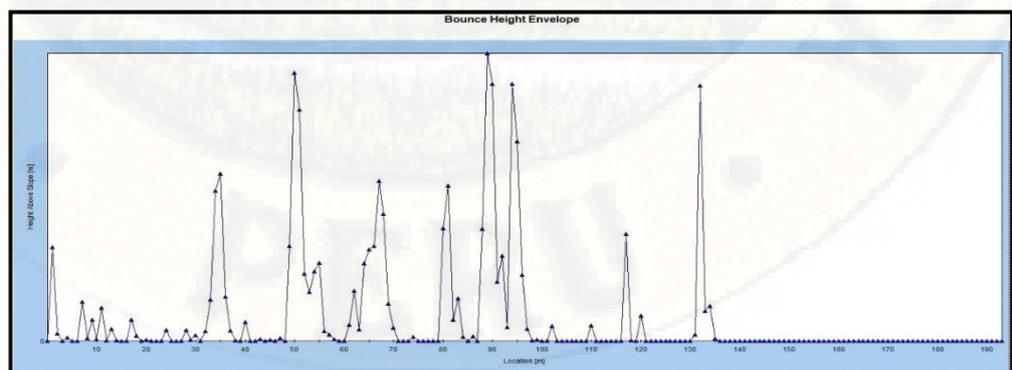


Figura 104. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-B.

RESUMEN

Tabla 21. Resumen de resultados de la modelación sin barrera.

| RESUMEN DE RESULTADOS DE LA MODELACIÓN / SIN BARRERA | | | | |
|--|---|--------------------------------------|--|---|
| TRAYECTORIAS | DISTANCIA MÁXIMA ALCANZADA (m) | ALTURA DE REBOTE MÁXIMA (m) | ENERGÍA CINÉTICA TOTAL MÁXIMA (KJ) | VELOCIDAD TRASLACIONAL MÁXIMA (m/s) |
| 1 | 317.5 | 1.26 | 839.84 | 13.69 |
| 2 | 256.5 | 3.00 | 3863.28 | 22.55 |
| 3 | 242.5 | 6.61 | 260.04 | 27.36 |
| 4 | 279.5 | 2.77 | 270.31 | 26.91 |
| 5 | 249.5 | 4.73 | 261.96 | 26.60 |
| 6 | 223.5 | 5.82 | 36.64 | 26.98 |
| 7 | 279.5 | 6.02 | 2427.25 | 28.16 |
| 8 | 279.5 | 4.26 | 1314.79 | 20.86 |
| A | 182.5 | 1.40 | 272.71 | 10.47 |
| B | 135.5 | 0.49 | 20.47 | 11.31 |

Fuente: Elaboración propia.

El software Rocfall, da a conocer las predicciones generalmente precisas y similares vistos en campo en la obtención de los siguientes valores distancia máxima alcanzada, altura de rebote, energía cinética y velocidad.

De acuerdo a la modelación realizada en las diferentes trayectorias, las rocas tienen alcances hasta la zona urbana del sector de Ccollpayacu, con energías de hasta 3863.28 KJ.

4.1.5.2. Modelación en software Rocfall con barrera dinámica

A continuación, se muestran resultados de: ubicación horizontal de los puntos finales de las rocas, energía cinética total y altura de rebote de las rocas, para cada una de las 10 trayectorias definidas, considerando la barrera dinámica. Y los otros resultados como las gráficas y datos de: velocidad rotacional, velocidad traslacional, energía cinética rotacional y energía cinética traslacional.

TRAYECTORIA N°1



Figura 105. Modelado de caída de rocas T-1.

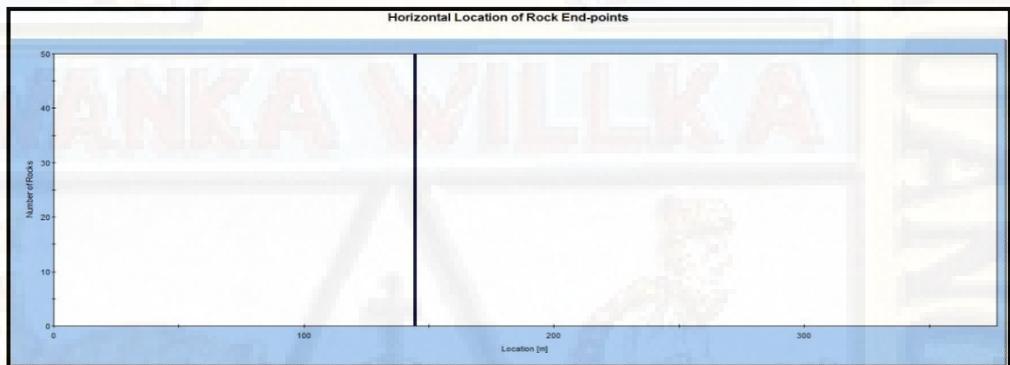


Figura 106. Gráfica de la localización final de las rocas T-1.

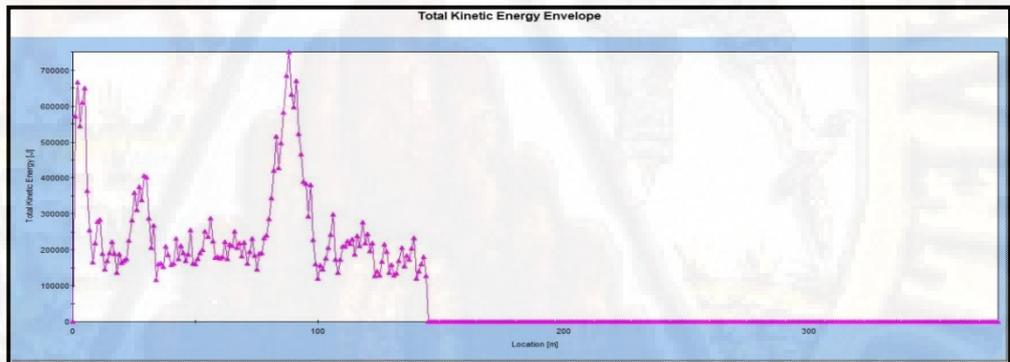


Figura 107. Gráfica de la energía cinética total T-1.

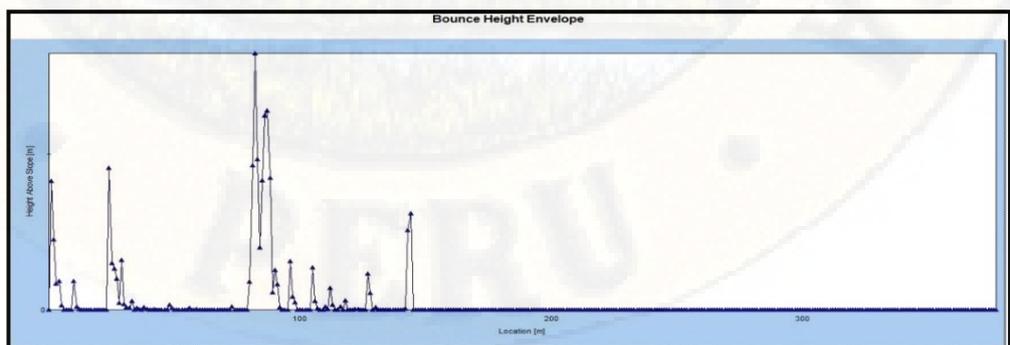


Figura 108. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-1.

TRAYECTORIA N°2

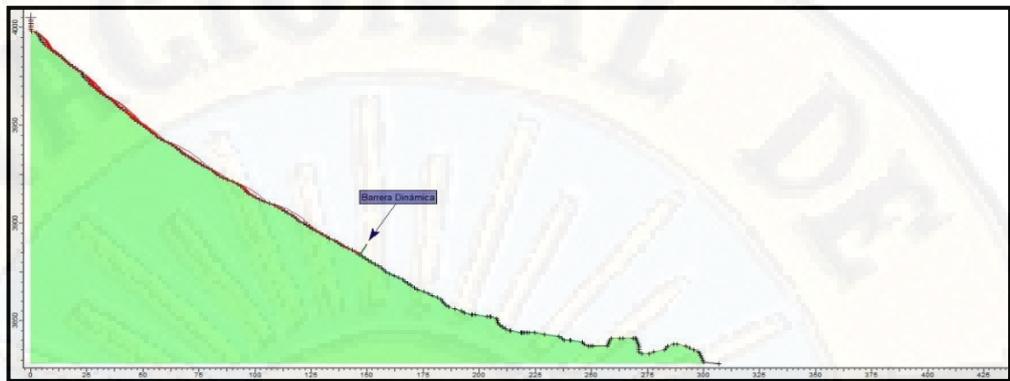


Figura 109. Modelado de caída de rocas T-2.

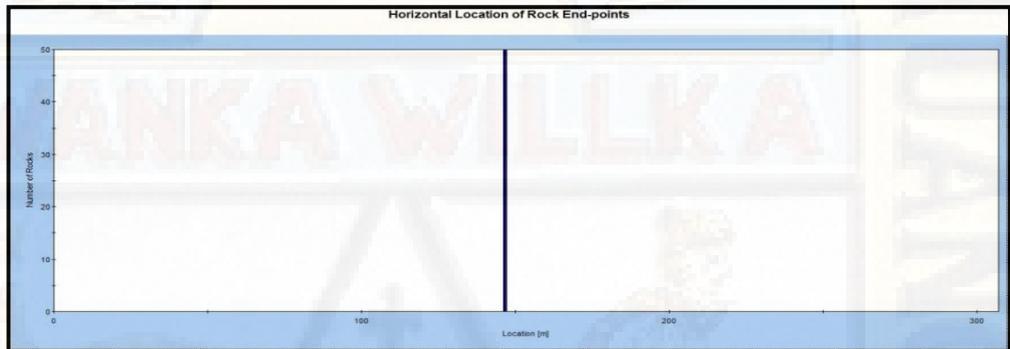


Figura 110. Gráfica de la localización final de las rocas T-2.

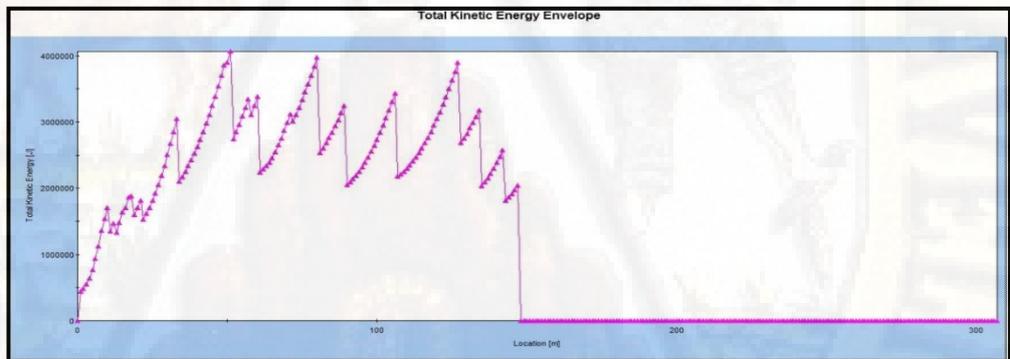


Figura 111. Gráfica de la energía cinética total T-2.

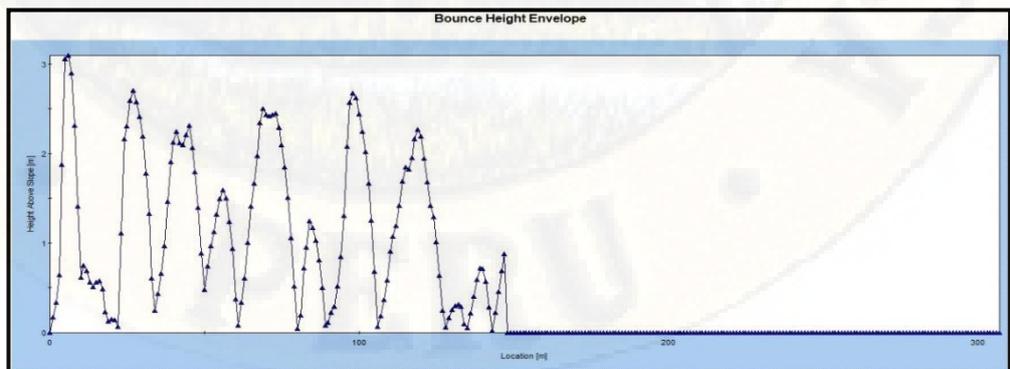


Figura 112. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-2.

TRAYECTORIA N°3

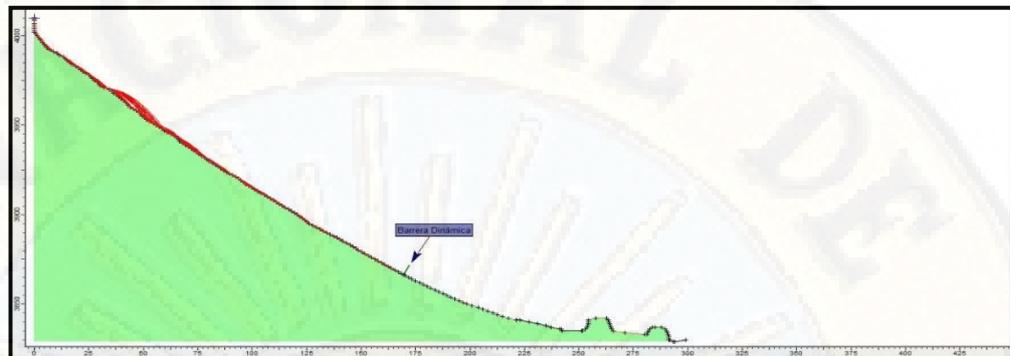


Figura 113. Modelado de caída de rocas T-3.

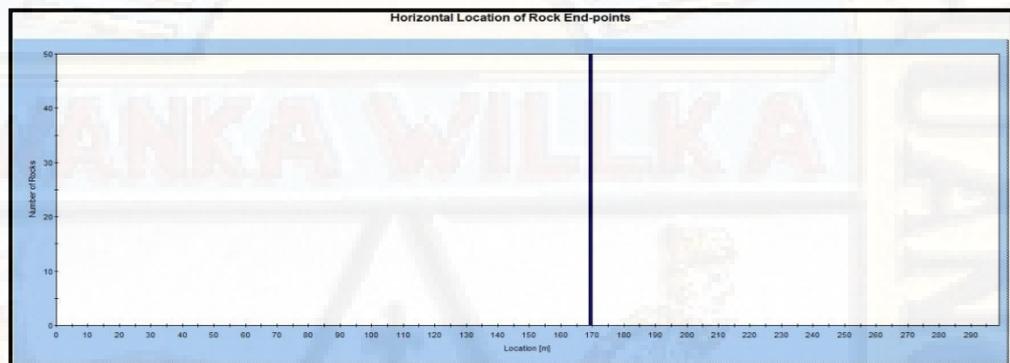


Figura 114. Gráfica de la localización final de las rocas T-3.

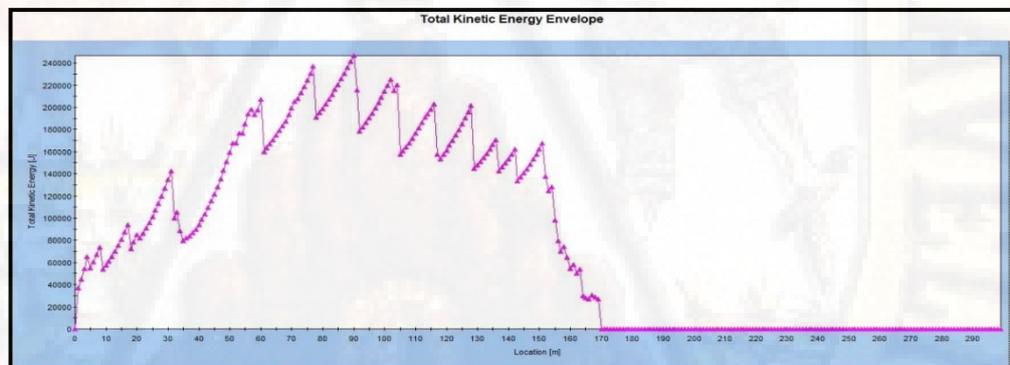


Figura 115. Gráfica de la energía cinética total T-3.

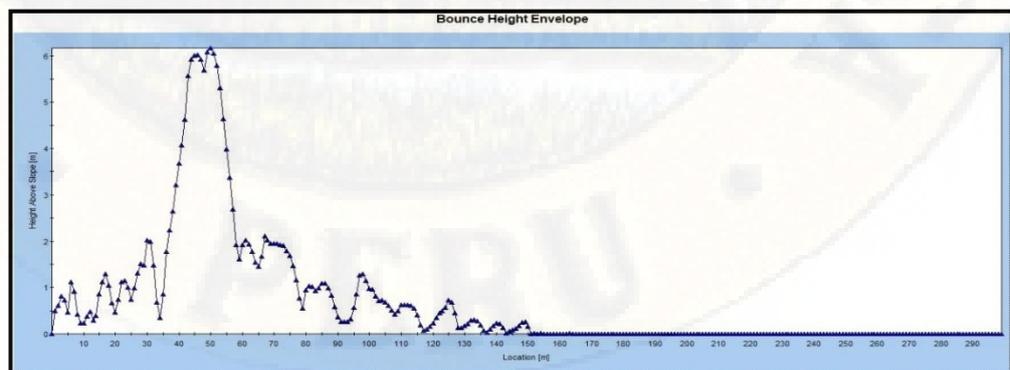


Figura 116. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-3.

TRAYECTORIA N°4

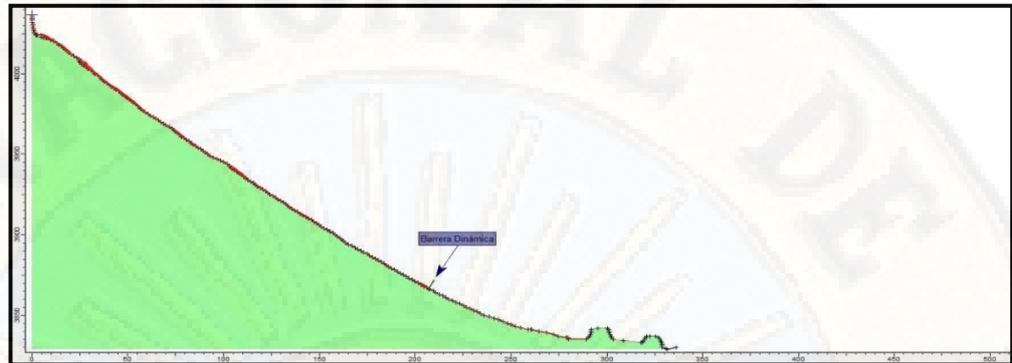


Figura 117. Modelado de caída de rocas T-4.

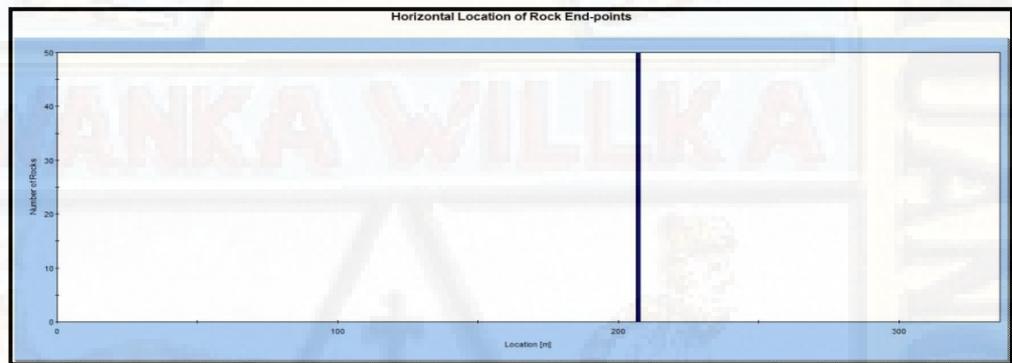


Figura 118. Gráfica de la localización final de las rocas T-4.

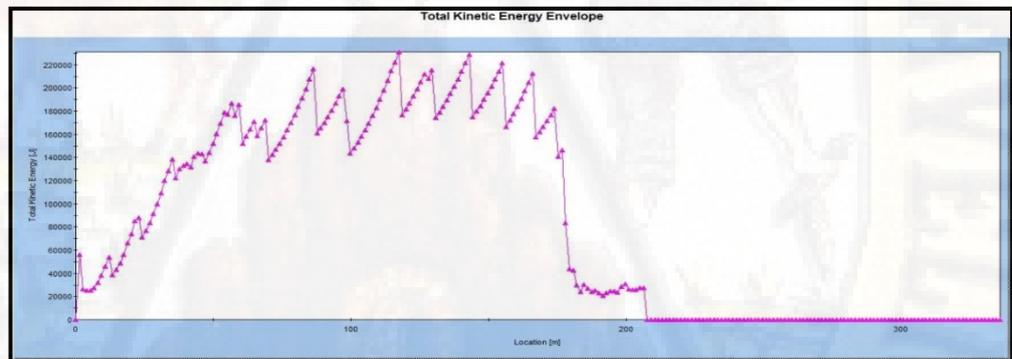


Figura 119. Gráfica de la energía cinética total T-4.

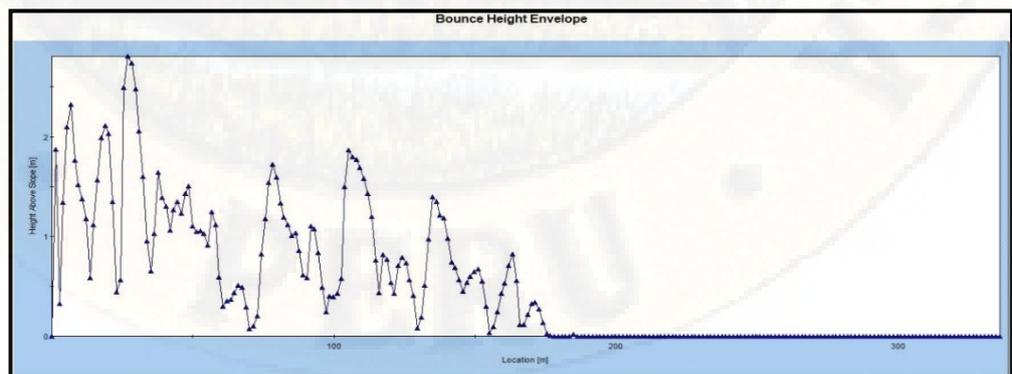


Figura 120. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-4.

TRAYECTORIA N°5

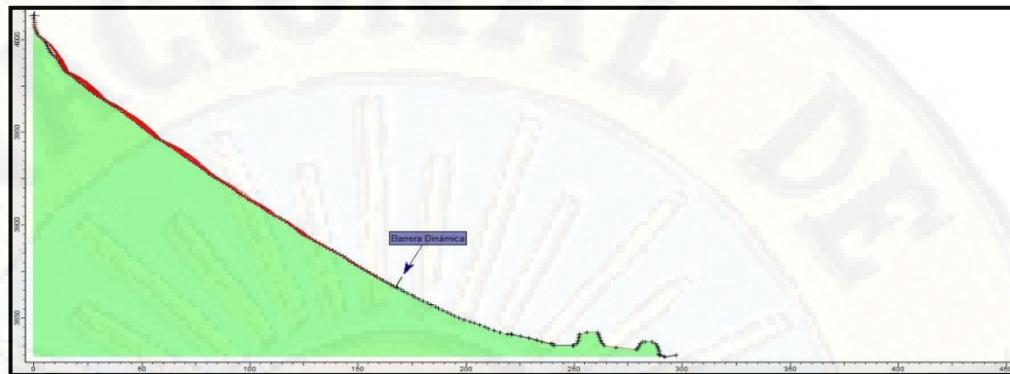


Figura 121. Modelado de caída de rocas T-5.

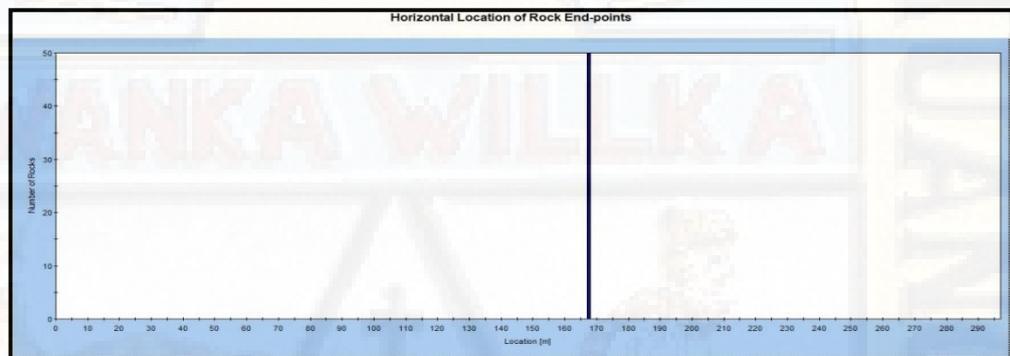


Figura 122. Gráfica de la localización final de las rocas T-5.

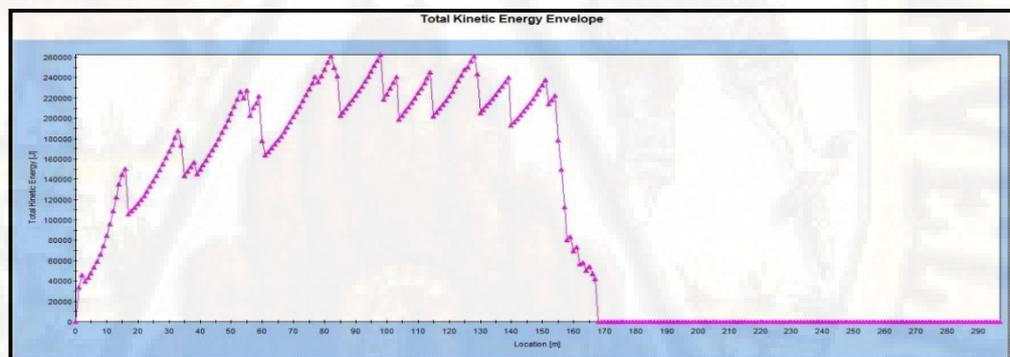


Figura 123. Gráfica de la energía cinética total T-5.

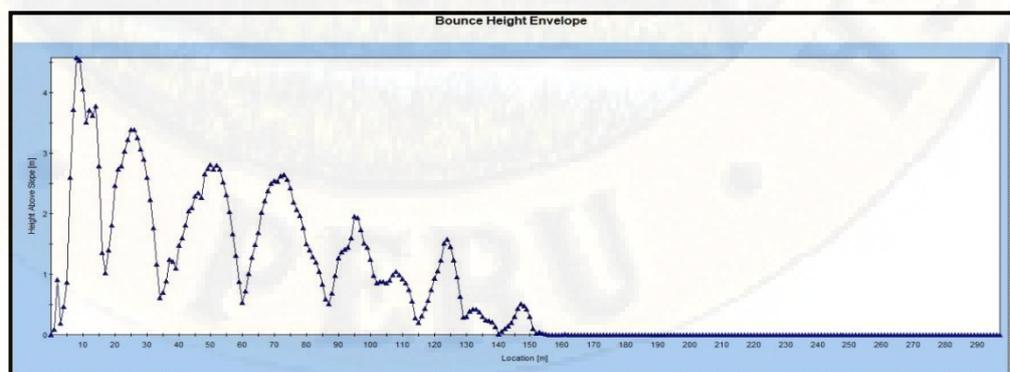


Figura 124. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-5.

TRAYECTORIA N°6

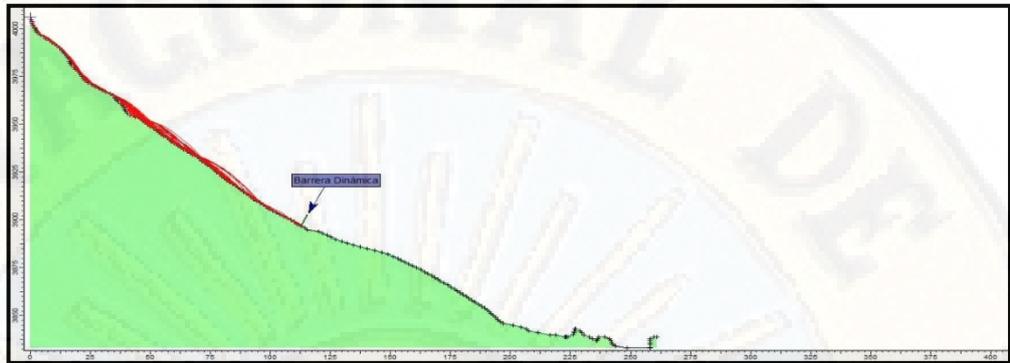


Figura 125. Modelado de caída de rocas T-6.

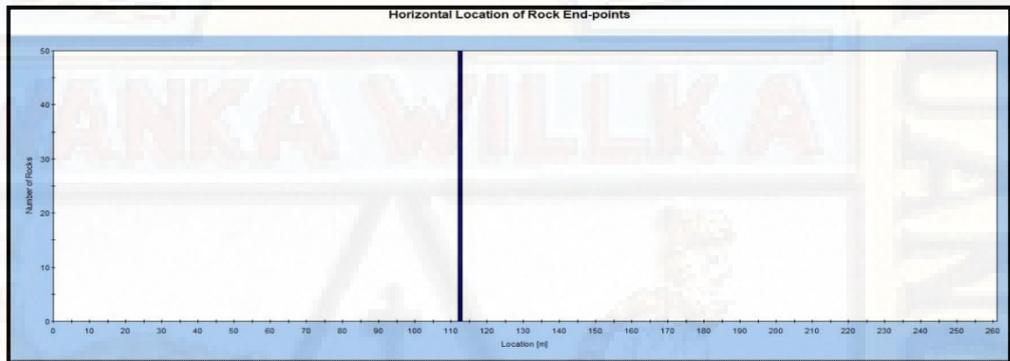


Figura 126. Gráfica de la localización final de las rocas T-6.

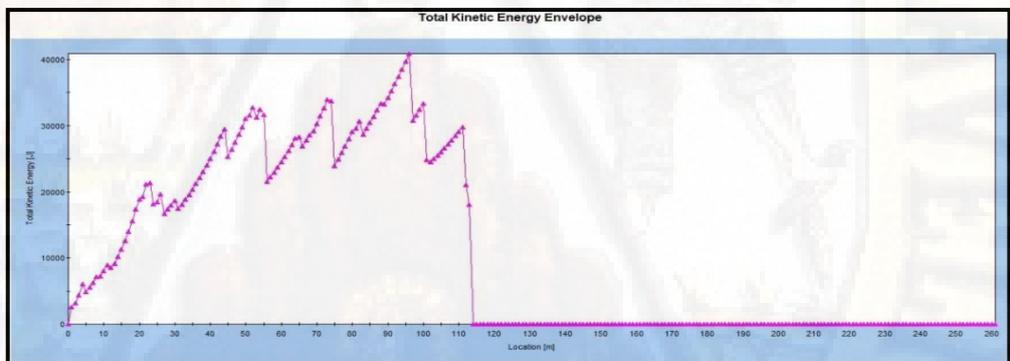


Figura 127. Gráfica de la energía cinética total T-6.

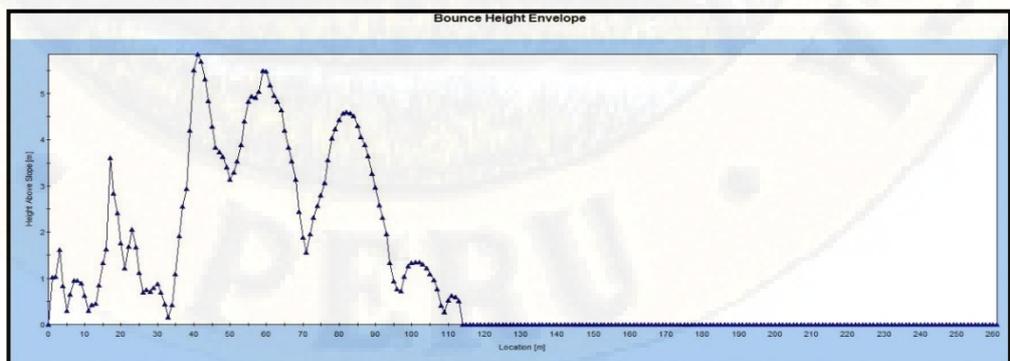


Figura 128. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-6.

TRAYECTORIA N°7

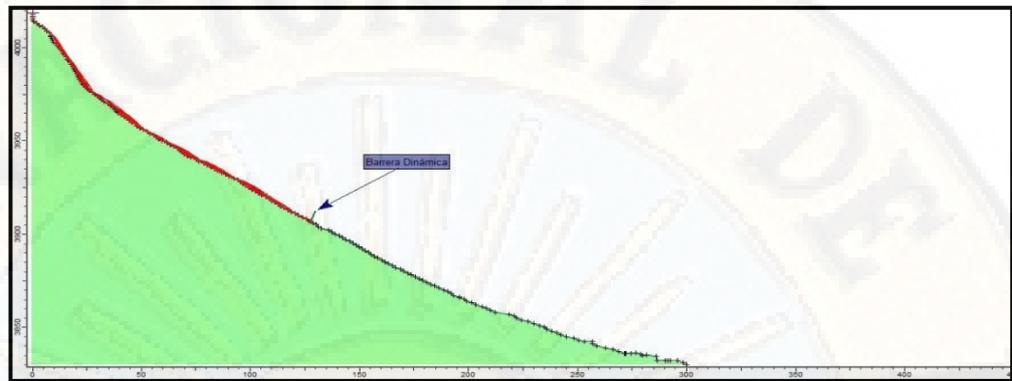


Figura 129. Modelado de caída de rocas T-7.

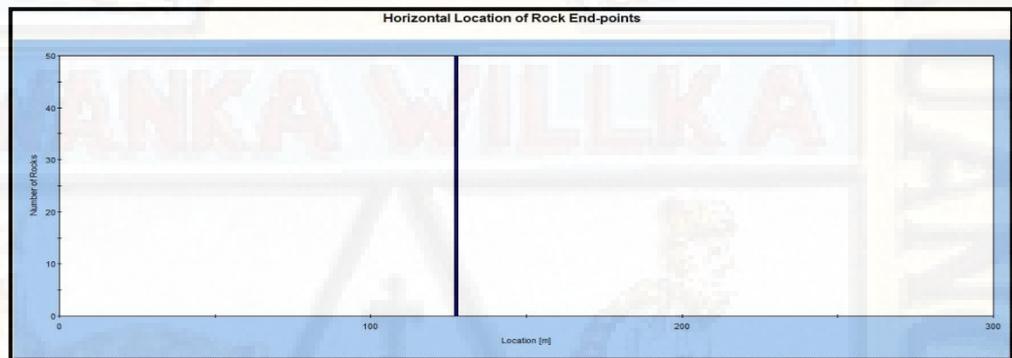


Figura 130. Gráfica de la localización final de las rocas T-7.

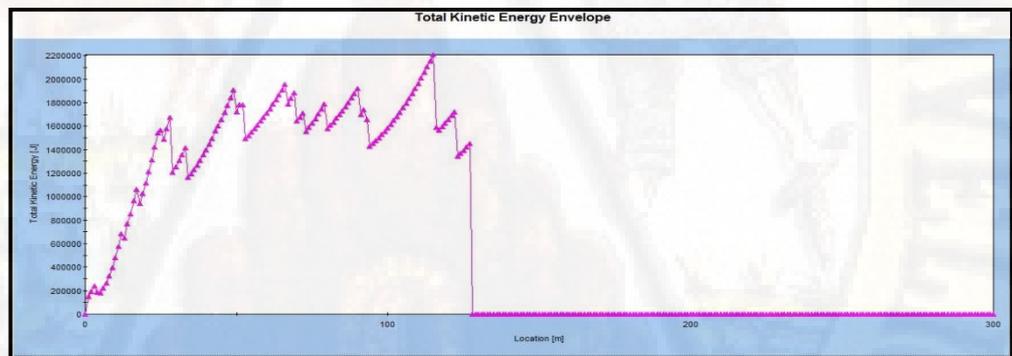


Figura 131. Gráfica de la energía cinética total T-7.

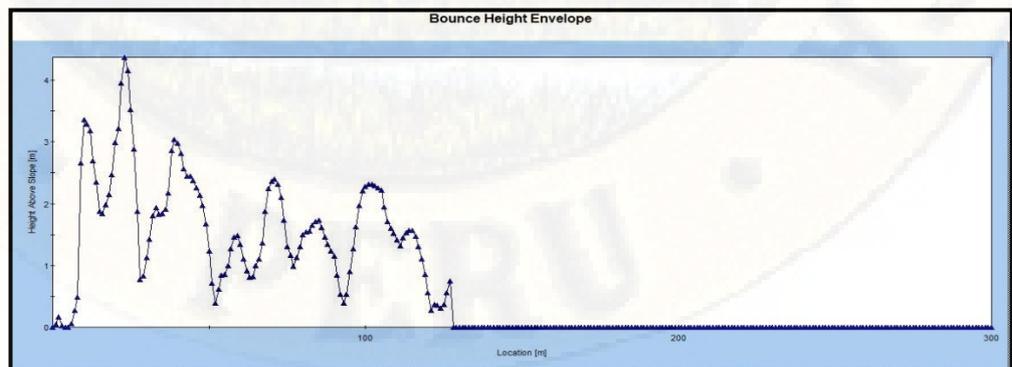


Figura 132. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-7.

TRAYECTORIA N°8

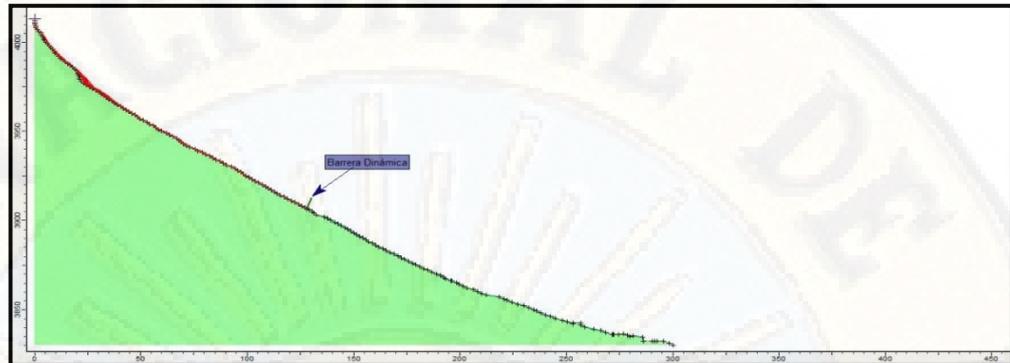


Figura 133. Modelado de caída de rocas T-8.

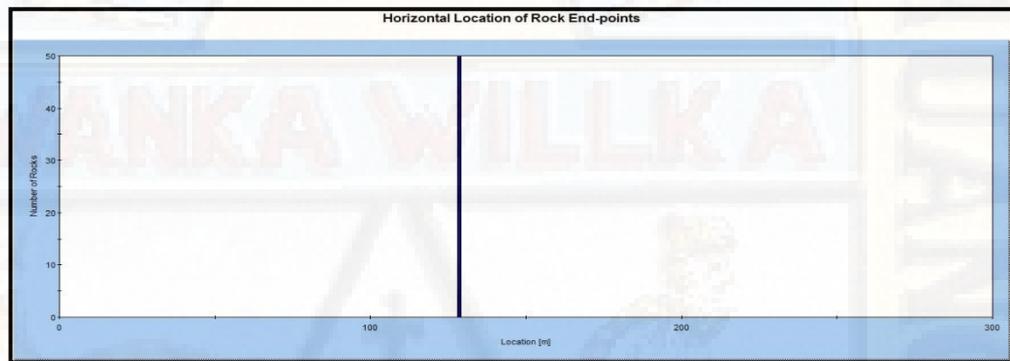


Figura 134. Gráfica de la localización final de las rocas T-8.

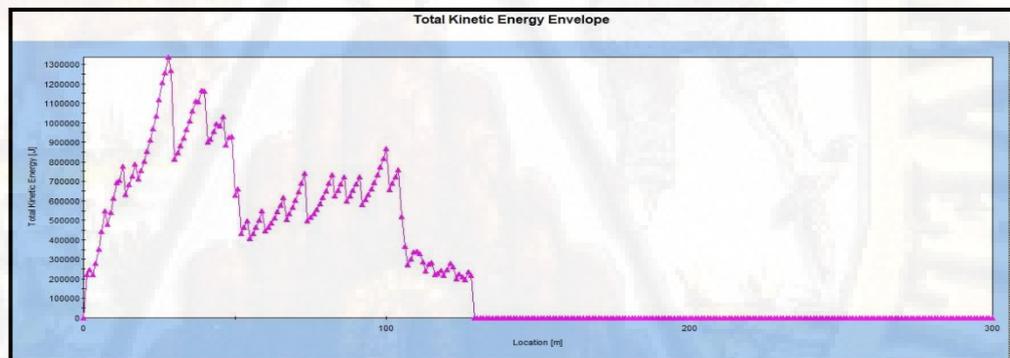


Figura 135. Gráfica de la energía cinética total T-8.

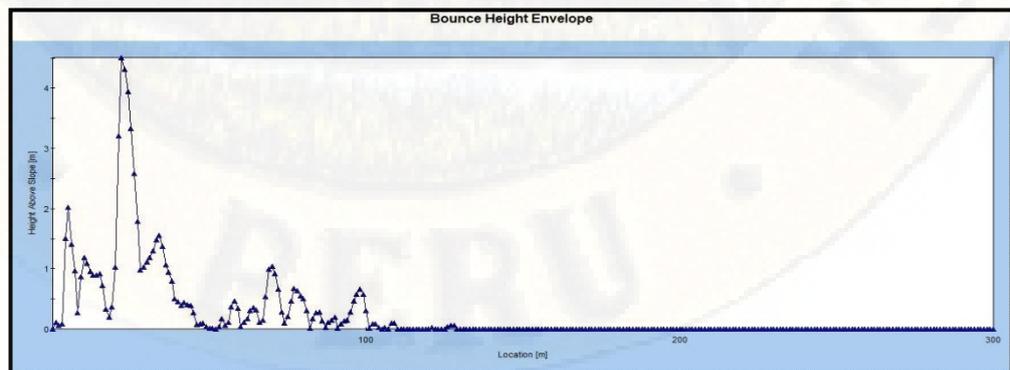


Figura 136. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-8.

TRAYECTORIA N°A

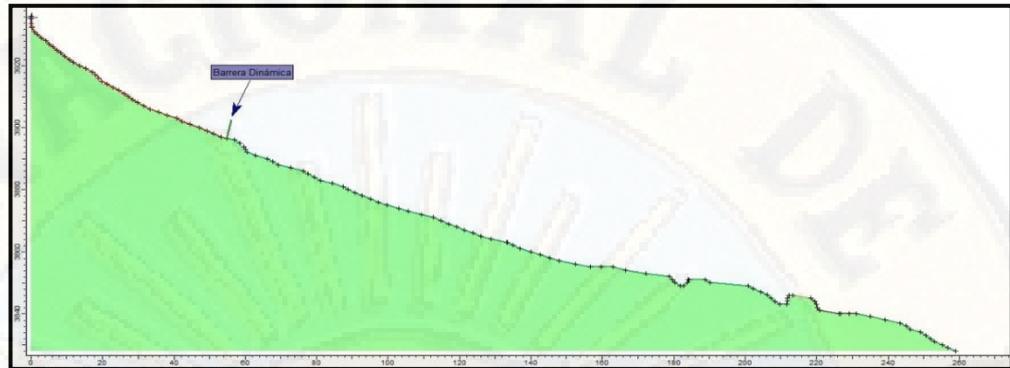


Figura 137. Modelado de caída de rocas T-A.

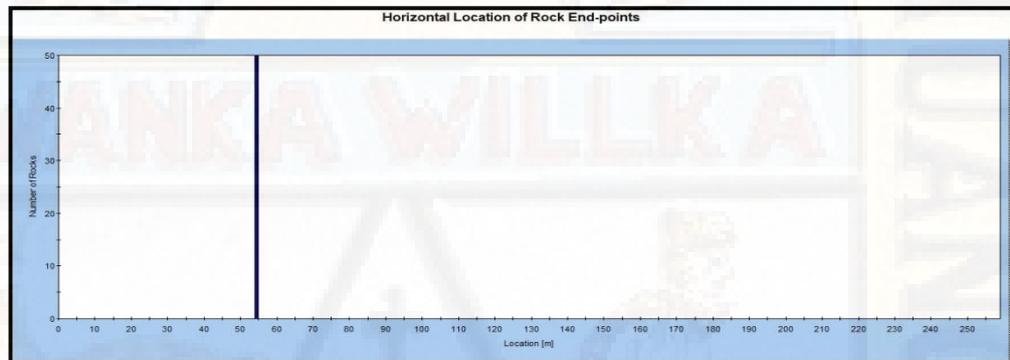


Figura 138. Gráfica de la localización final de las rocas T-A.

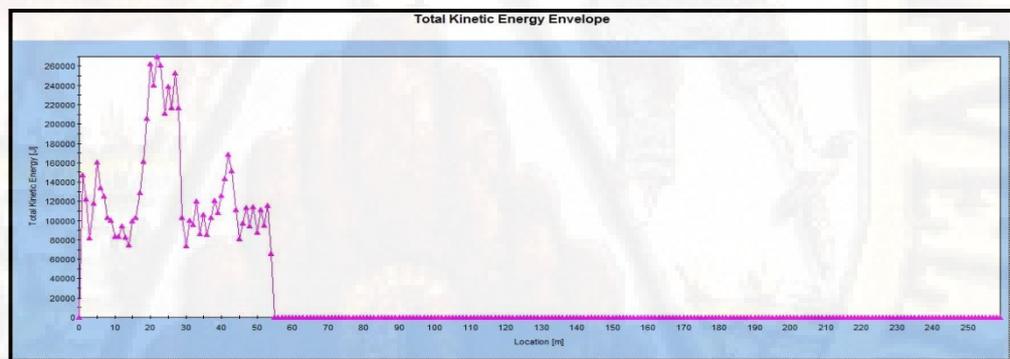


Figura 139. Gráfica de la energía cinética total T-A.

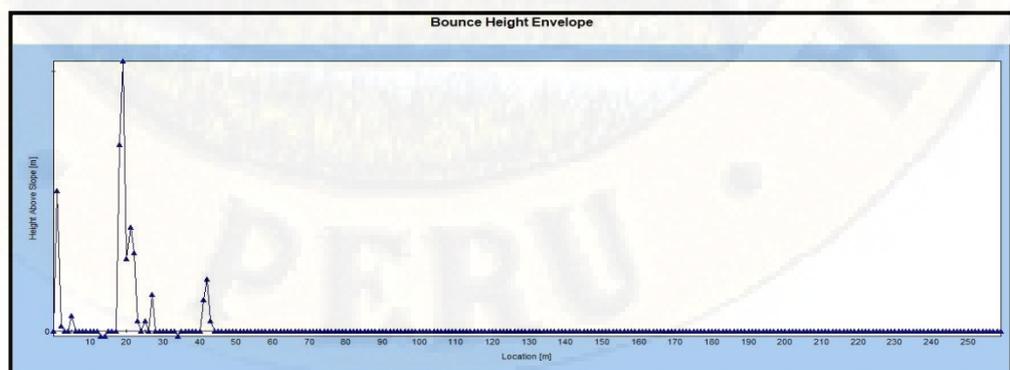


Figura 140. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-A.

TRAYECTORIA N°B



Figura 141. Modelado de caída de rocas T-B.

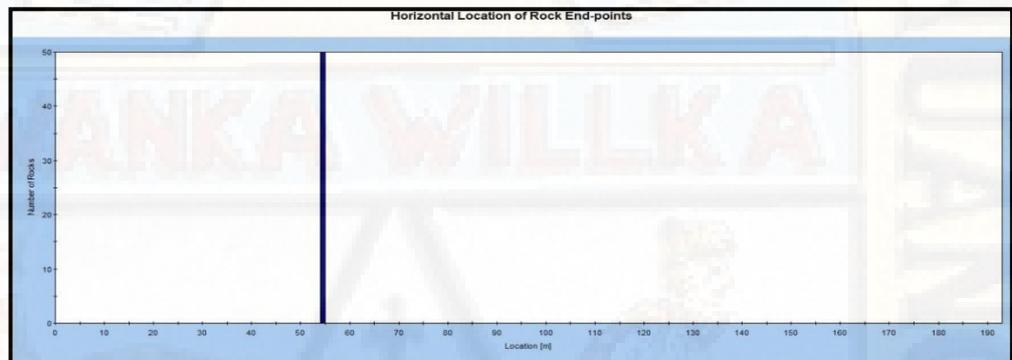


Figura 142. Gráfica de la localización final de las rocas T-B.

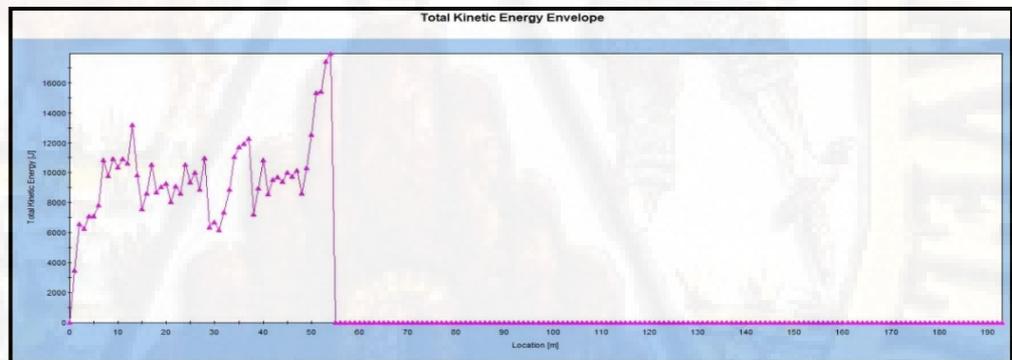


Figura 143. Gráfica de la energía cinética total T-B.

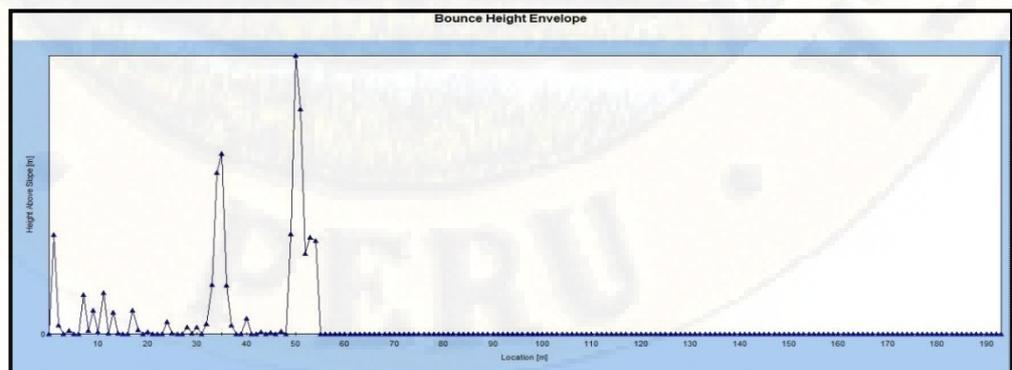


Figura 144. Gráfica de la altura de rebote que tuvo la roca en su recorrido T-B.

RESUMEN

Tabla 22. Resumen de resultados de la modelación con barrera.

| RESUMEN DE RESULTADOS DE LA MODELACIÓN / CON BARRERA | | | | |
|--|---|---|--|---|
| TRAYECTORIAS | DISTANCIA MÁXIMA ALCANZADA (m) | ALTURA DE REBOTE MÁXIMA (m) | ENERGÍA CINÉTICA TOTAL MÁXIMA (KJ) | VELOCIDAD TRASLACIONAL MÁXIMA (m/s) |
| 1 | 144.5 | 0.82 | 750.49 | 12.84 |
| 2 | 146.5 | 3.10 | 4065.41 | 23.15 |
| 3 | 169.5 | 6.17 | 246.70 | 25.35 |
| 4 | 207.5 | 2.88 | 269.18 | 27.33 |
| 5 | 167.5 | 4.58 | 262.59 | 26.93 |
| 6 | 112.5 | 5.85 | 40.90 | 28.35 |
| 7 | 127.5 | 4.37 | 2208.07 | 26.29 |
| 8 | 128.5 | 4.51 | 1336.24 | 20.83 |
| A | 54.5 | 0.52 | 269.85 | 10.28 |
| B | 54.5 | 0.42 | 17.95 | 10.79 |

Fuente: elaboración propia.

La barrera impide el normal desprendimiento de las rocas, es por esta razón que la roca se detiene, pero a veces no ocurre esto, en vez de detenerse rápidamente, las rocas vuelven cuesta arriba y nuevamente impactan con la barrera, haciendo que la energía aumente; así ocurre en las barreras de las trayectorias 2, 5, 6 y 8 con incrementos de 5.23%, 0.24%, 11.61% y 1.63% respectivamente.

4.1.6. Medidas de mitigación

La medida de mitigación contra desprendimiento de rocas que se opta para esta investigación, son las barreras dinámicas de capacidad de 5000 KJ de energía de absorción, de acuerdo a la máxima energía hallada en la modelación sin barrera que fue de 3863.28 KJ, pero cuando se modela con barrera dinámica la energía máxima es de 4065.41 KJ. Además, estas son de fácil instalación, larga durabilidad y adecuación a cualquier perfil de talud.

Estas barreras deberán ser instaladas en una longitud de 270 m, distancias entre postes de 8 a 12m y una altura de 6m, esta medida fue tomada en cuenta de acuerdo a la altura de rebote el cual fue simulada.

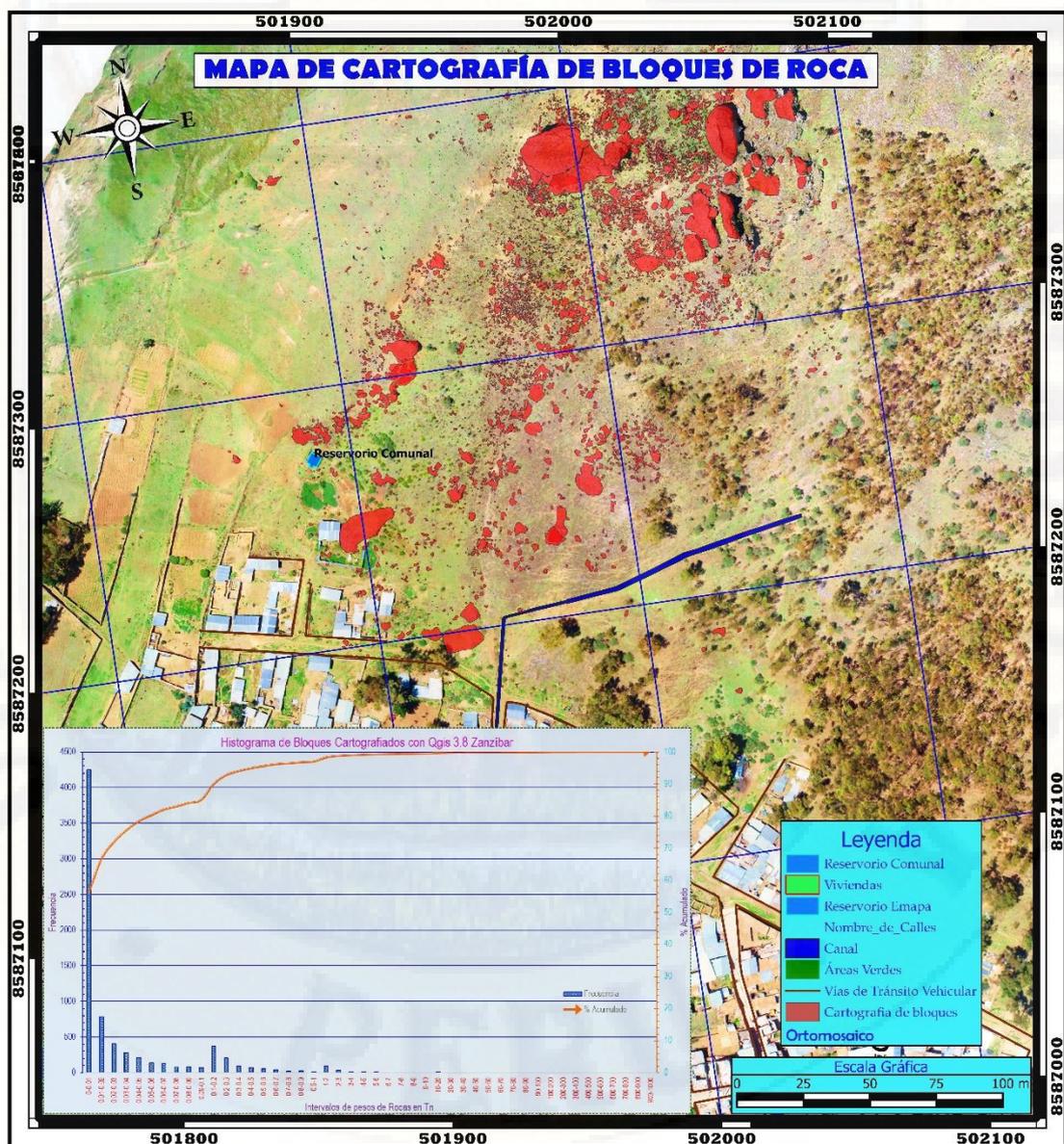
Por lo tanto, la amenaza que representaba las caídas de rocas a las viviendas ubicadas en las faldas del cerro Aparinacu, serán mitigadas con barreras RXE (Estas adoptan tecnología vanguardista con redes de alambre de acero de alta resistencia).

4.1.7. Mapas temáticos

4.1.7.1. Mapa de cartografía de bloques

En el siguiente mapa temático se muestra la cantidad de bloques de roca digitalizadas con técnicas de fotogrametría y de acuerdo al histograma generado, se observa que existe una mayor frecuencia de bloques comprendidos entre 0 y 10 kg, otra roca de gran magnitud de aproximadamente 869.31 Tn, existe en la zona de afloramiento de rocas.

En totalidad se identificaron 7566 bloques de rocas, entre rangos de 0.001 y 338.52m³ exceptuando las rocas que no se pudieron identificar, siendo estas de menor tamaño mencionado anteriormente.



4.1.7.2. Mapa de trayectorias con amenaza

Existen rocas con probabilidades muy considerables a desprenderse, ya sea por la modificación en su centro de gravedad, alteración física y química, entre otros factores que pueden alterar su estabilidad.

Las trayectorias de color rojo muestran las zonas con mayor energía originada durante un posible desprendimiento, es por ello que estas áreas son consideradas de mayor amenaza a las viviendas aledañas al cerro Aparinacu. En el caso de las trayectorias que resaltan de color azul, pueden considerarse zonas de menor amenaza o en su defecto nula.

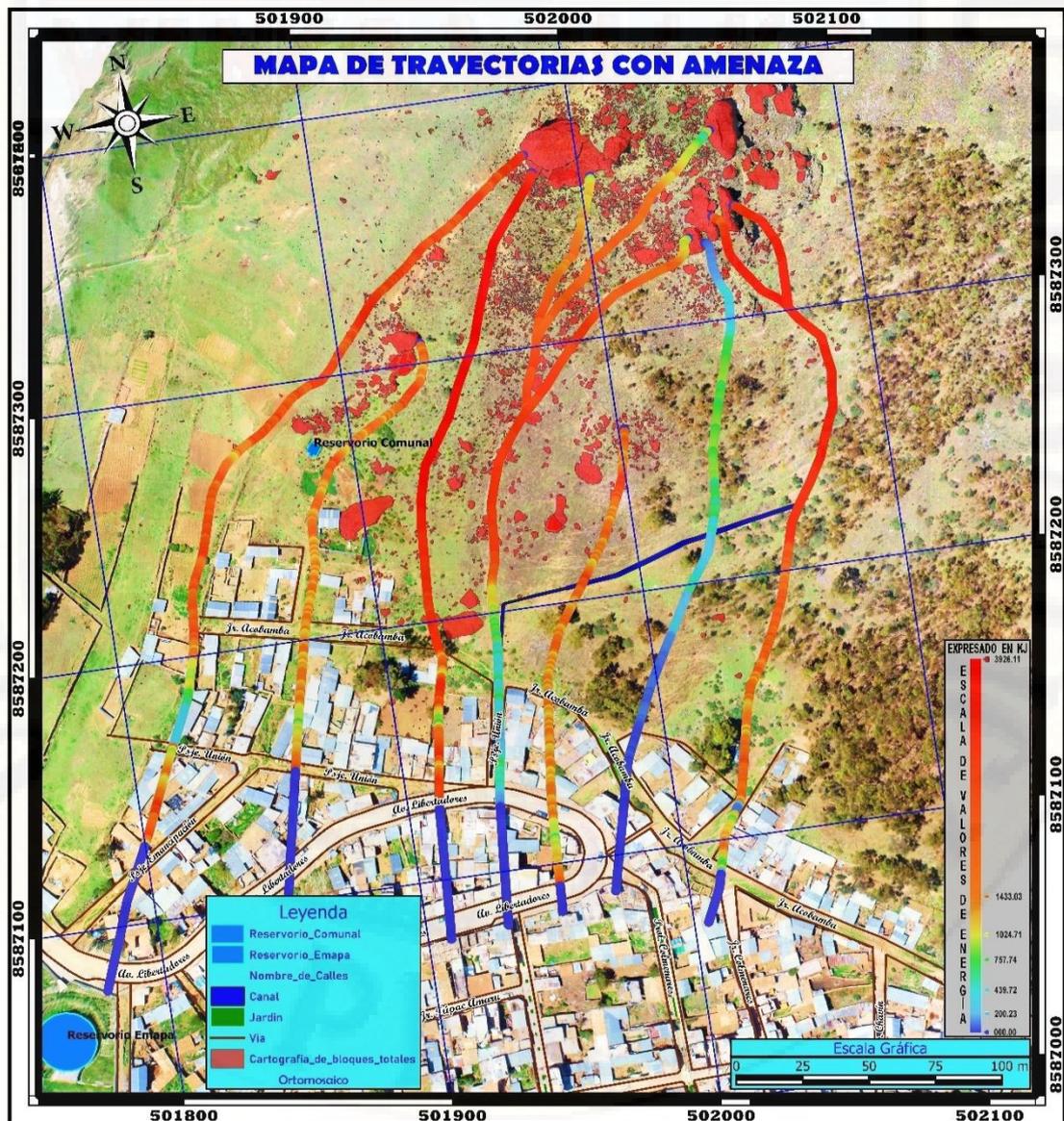


Figura 146. Mapa de trayectorias con amenaza.

4.1.7.3. Mapa de trayectorias con amenaza mitigado

Una vez realizada el modelamiento se identificó la ubicación de la barrera dinámica resultando el siguiente mapa:

- Color verde: zonas con trayectorias mitigados.
- Color rojo: zonas con amenaza alta.

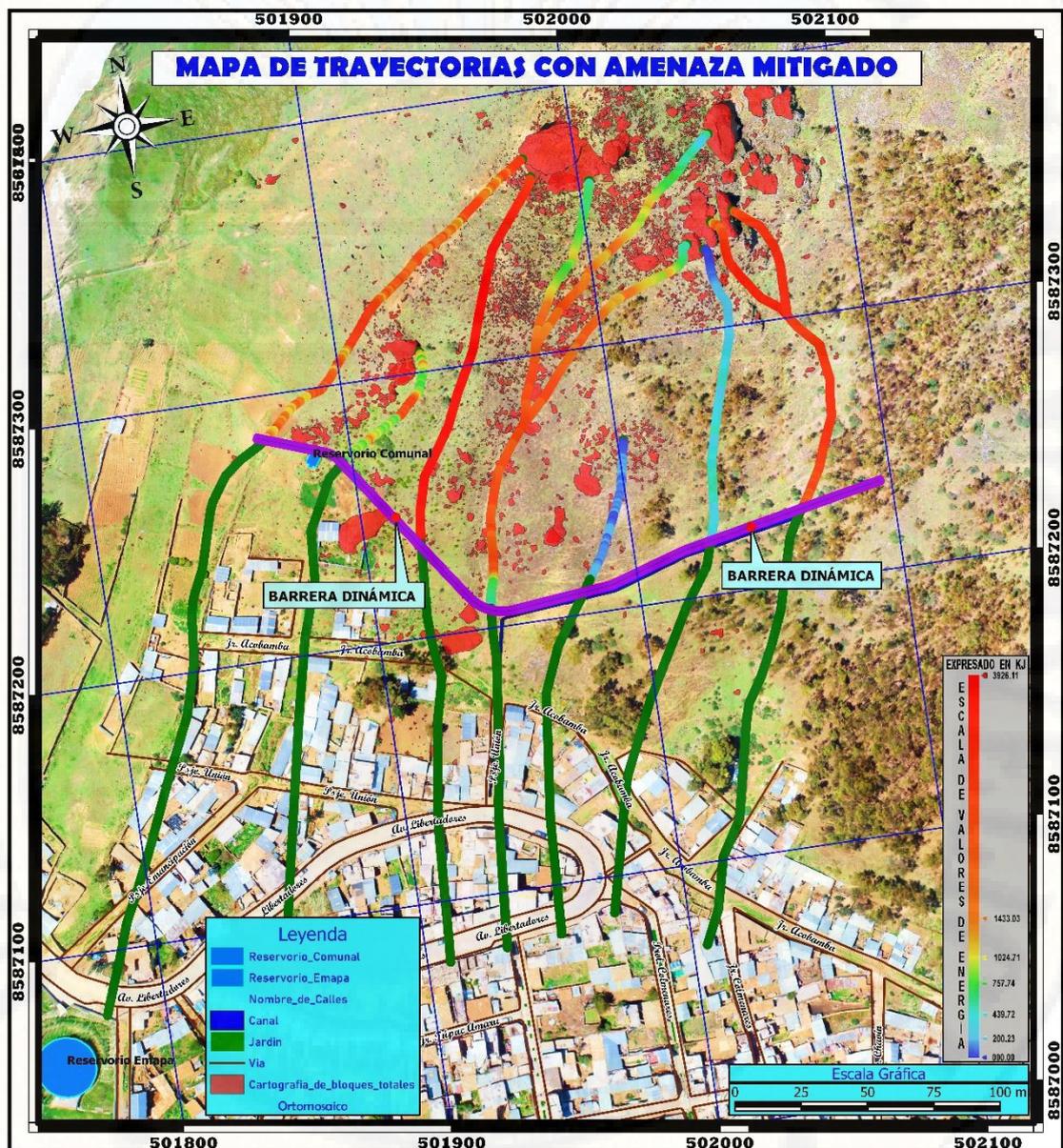


Figura 147. Mapa de trayectorias con amenaza mitigado.

4.1.7.4. Mapa de vulnerabilidad

Estas áreas son vulnerables ante caídas de rocas, por la ubicación misma de las viviendas, por lo que se clasifica en zonas de vulnerabilidad alta con 146 viviendas, media con 13 viviendas y baja con 253 viviendas.

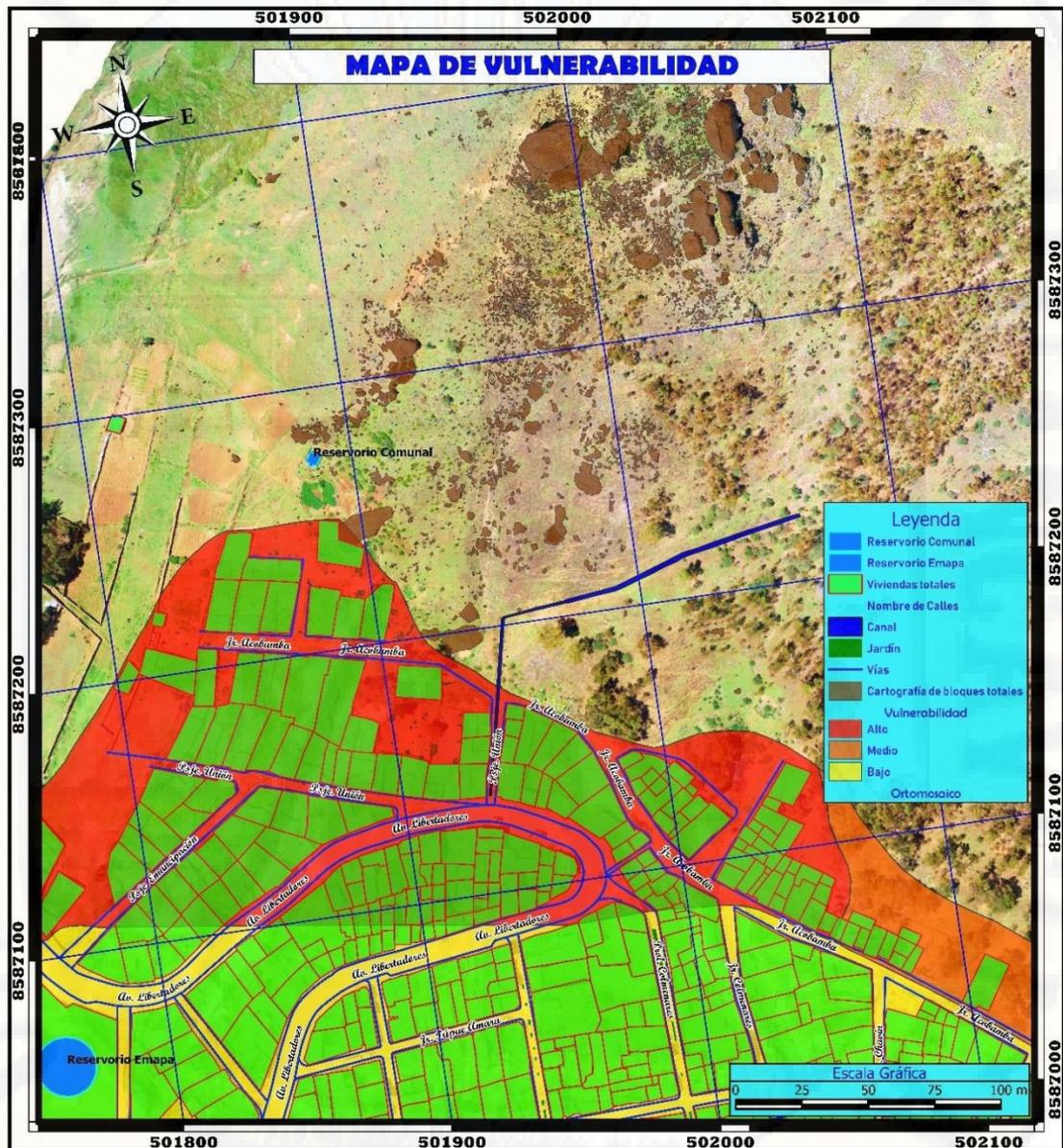


Figura 148. Mapa de vulnerabilidad de la zona de estudio.

4.1.7.5. Mapa de riesgo

El riesgo muy alto representa la parte central del mapa (color rojo) el cual comprende áreas libres y 98 viviendas a ser afectadas ante un posible desprendimiento de rocas, se aclara que para identificar el riesgo se tuvo en cuenta la amenaza (energías) y vulnerabilidad (viviendas).

Las puntuaciones de riesgo comprenden: 0.00 zonas con riesgo muy bajo (color verde oscuro), 0.25 con riesgo bajo (color verde claro), 0.50 con riesgo medio (color amarillo), 0.75 con riesgo alto (color anaranjado) y finalmente una puntuación de 1.00 con riesgo muy alto.

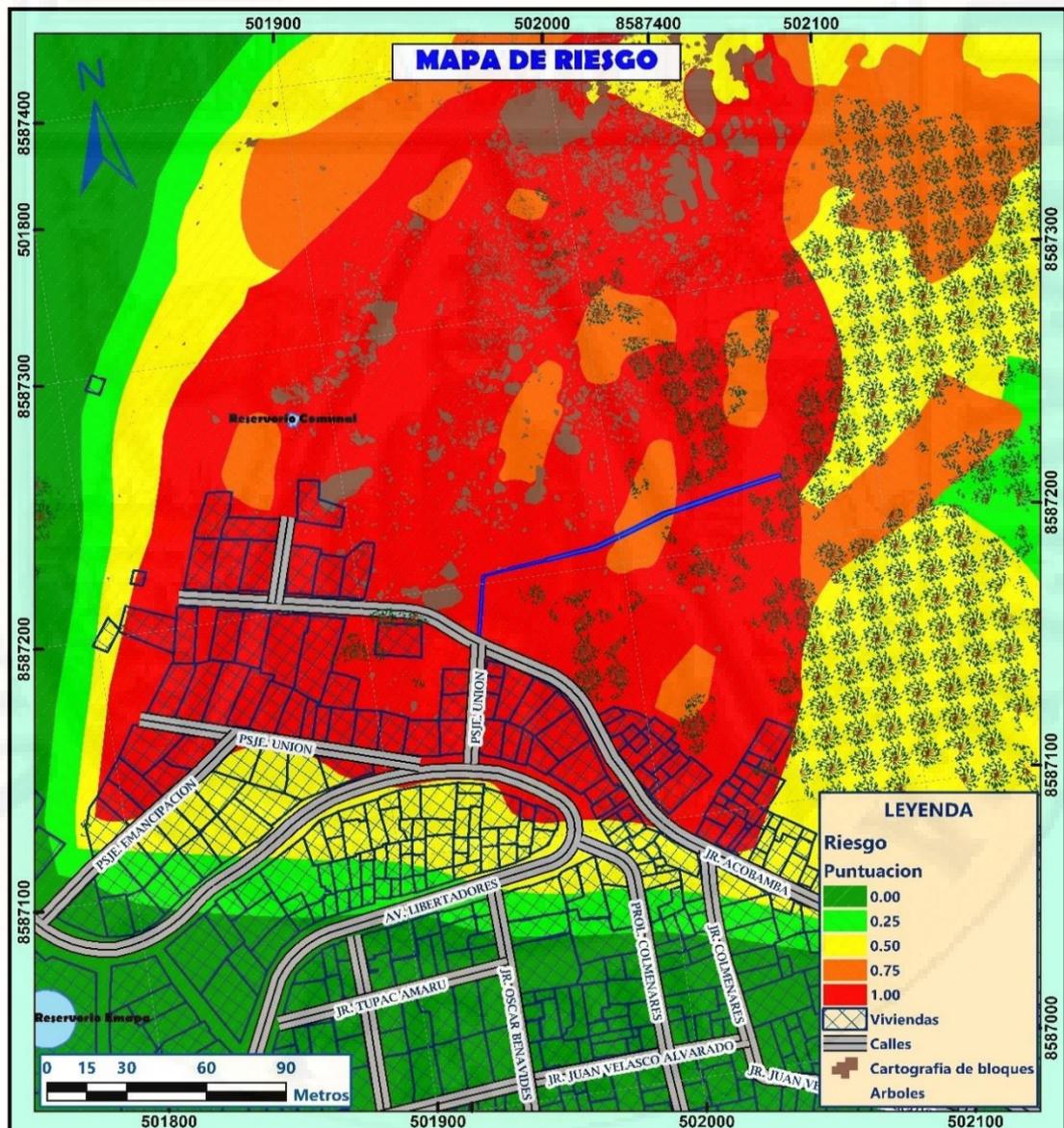


Figura 149. Mapa de riesgo de la zona de estudio.

4.1.7.6. *Mapa con riesgo mitigado: soluciones con barreras dinámicas*

Una vez obtenido el mapa temático de riesgos se analizó poniendo alguna alternativa de solución a este tipo de riesgos y así poder mitigar. Para esta investigación se decidió colocar las barreras dinámicas por su alto grado de soporte elástico y disipación ante energías cinéticas en movimiento.

Estas barreras ayudarán a ser zonas más seguras ante una eventualidad de desprendimiento rocoso, tal como se muestra las áreas que están ubicadas debajo de la barrera dinámica (franja de color azul).

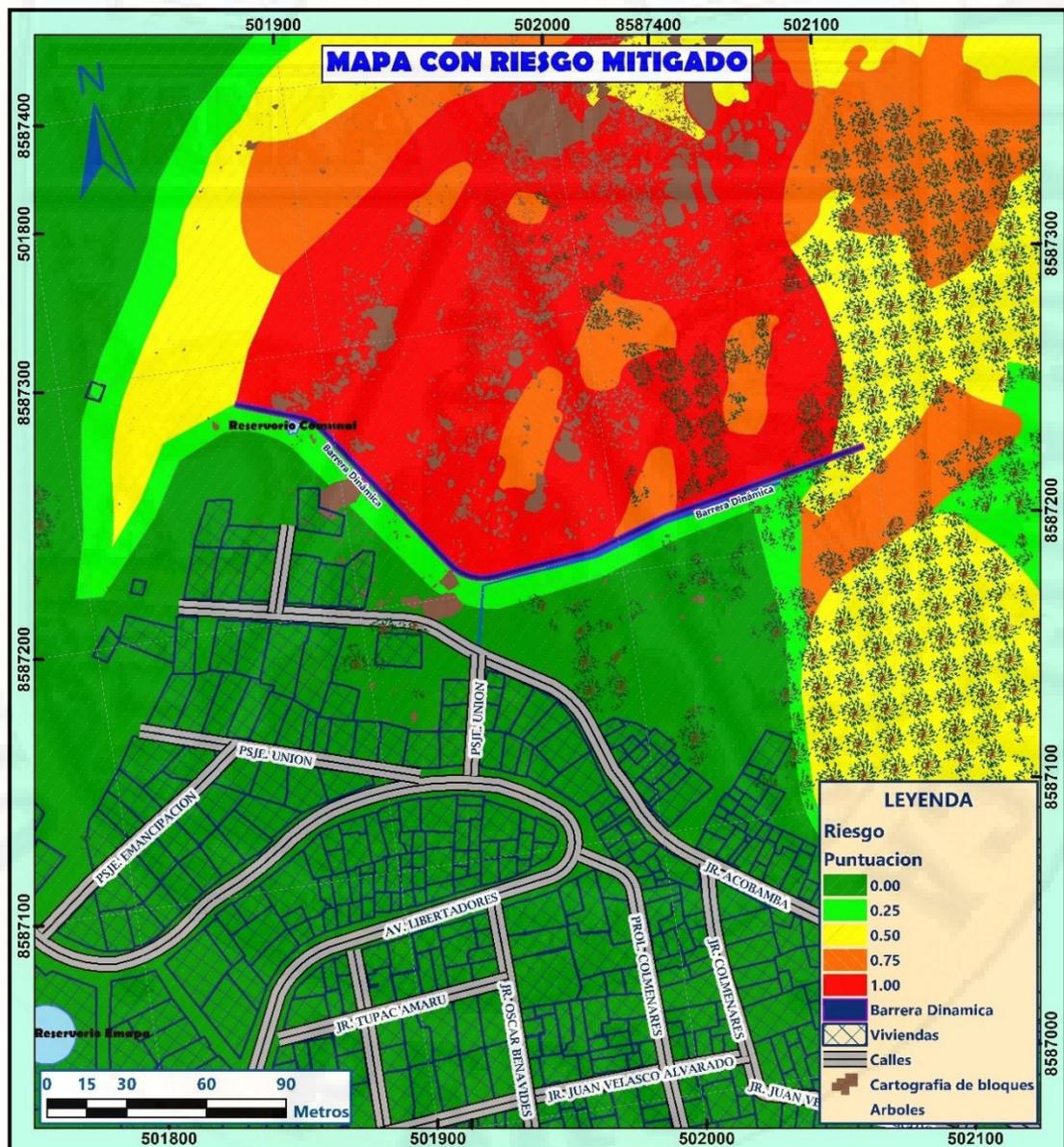


Figura 150. Mapa con riesgo mitigado del área de estudio.

4.2. Prueba de hipótesis

- El análisis y predicción de riesgo si genera resultados favorables en el análisis de trayectorias por desprendimiento de rocas, mediante la identificación de las trayectorias que definen el perfil de la caída de las rocas, esto se logra gracias a las imágenes y procesamiento fotogramétrico.
- El análisis y predicción de riesgo si genera resultados favorables en la validación del modelado con Rocfall por desprendimiento de rocas, esto se logra con la validación insitu, obteniendo los coeficientes de restitución R_n y R_t , los cuales son de vital importancia para la simulación de las trayectorias definidas.
- El análisis y predicción de riesgo si genera resultados favorables en el modelamiento con el software Rocfall por desprendimiento de rocas, ello fue posible para predecir las amenazas al sector de Ccollpayacu, las cuales son controladas mediante la inserción del sistema de protección dinámica, resultado de esto se elabora los mapas temáticos de: amenazas, vulnerabilidad, riesgos y riesgos mitigados.

4.3. Discusión de resultados

Los vuelos de vehículos aéreos no tripulados (RPA) son de gran ayuda para la obtención de imágenes de alta calidad, luego de procesar mediante el programa AgiSoft PhotoScan Professional, la que nos permitió procesar estas imágenes dando como resultado: Modelo de Elevación Digital (DEM de 0.148x0.148m), Ortomosaicos (0.0369x0.0369m de resolución), esta nos permitió generar las trayectorias y perfiles topográficos para una adecuada modelación. Similar identificación hizo (*Lara, 2016*) identificando zonas de acumulación de bloques, corredores, escarpes, cartografiado de bloques mayores a 0.001m³. Gracias a la técnica mencionada, se pudo identificar las trayectorias, áreas de depósitos coluviales y evidencias de masas rocosas colgadas.

La calibración que se realizó en esta investigación guarda relación con lo estudiado por (*Azzoni, Barbera, & Zaninetti, 1995*) en la que manifiestan que utilizaron un modelo matemático computacional, para analizar y predecir las trayectorias de desprendimientos de rocas en dos pendientes diferentes, donde se habían realizado pruebas in situ, obteniendo: velocidad, energía de traslación y rotación, altura de rebote y distancia de salida. Asimismo, obtuvieron valores de restitución normal y tangencial para luego usarlas en su modelo matemático, razón por la cual, se calibra en campo estos parámetros, para determinar los valores más adecuados para el lugar de estudio.

Al realizar la modelación en el software Rocfall sin la barrera dinámica, se determinó los siguientes parámetros: distancia de alcance máximo, altura de rebote máximo, energía total cinética máxima y velocidad traslacional máxima. Con estos resultados obtenidos se elegirá capacidad de la barrera a instalar. Similares resultados obtuvieron:

- (*Escamilla, 2014*) en su tesis “Caída de fragmentos de roca y metodología para una adecuada modelación” haciendo uso del software Rocfall, el cual les sirvió para realizar un análisis estadístico, con la que evaluaron los taludes con riesgo de caída de bloques de rocas.
- (*Almandalawi, You, Dowling, & Sabry, 2015*) en su artículo científico “Slope stability and Rocfall Hazard analysis in open pit zinc mine”, usaron el software

Rocfall incluyendo un sistema de protección al pie del talud, para disminuir la energía de impacto de las rocas, mostrando las posibles áreas de desprendimiento y las distancias máximas de alcance de las rocas, estos definen una zona peligrosa de la fosa. Pero en la que no concuerda la investigación de este autor con el presente, es que ellos utilizan un sistema de protección inelástica.

Una vez realizado los modelamientos de las trayectorias se prosigue con la elaboración de los mapas para dar mayor realce a la investigación, teniendo en cuenta las variables de: pendiente, amenaza (energías), vulnerabilidad (viviendas), es así que se identifican los riesgos a la que están expuestos las viviendas; asimismo se elabora mapas con el riesgo mitigado. Estos resultados guardan relación con lo que sostienen (*Mineo, Pappalardo, Mangiameli, Campolo, & Mussumeci, 2018*) en su artículo titulado “Rocfall Analysis for Preliminary Hazard Assessment of the Cliff of Taormina Saracen Castle (Sicily)” donde zonifican el peligro de caída de rocas e identifican patrones de falla en rocas inestables, las cuales están representadas por desprendimientos de tipo plana y/o cuña, además muestran la evaluación de riesgo por desprendimiento de rocas en evolución y representan en mapas temáticos que pueden aplicarse a futuros trabajos de mitigación.

CONCLUSIONES

Se identificaron 10 trayectorias y perfiles topográficos para la modelación, gracias a la obtención de imágenes con dron de alta calidad, asimismo se identificó zonas de afloramiento rocoso, depósitos coluviales y rastros de desprendimientos ocurridos anteriormente.

La validación de coeficientes de restitución para una superficie de rodadura de suelo con vegetación, se hizo insitu, obteniendo valores de restitución normal de 0.32 y restitución tangencial de 0.78, estos resultados se tomaron como base, para aceptar los valores sugeridos por varios autores, para otras superficies como: afloramiento rocoso, pavimento rígido y techo de concreto.

El modelamiento en el software Rocfall permite el análisis de desprendimiento de rocas con barrera estática o dinámica, como también se puede hacer un análisis sin incluir barreras. Al realizar la modelación sin la barrera, se determina los siguientes parámetros: distancia de alcance máximo de 317.5 m en la trayectoria 1 desde la ubicación del afloramiento rocoso, altura de rebote máximo de 6.61 m en la trayectoria 3, energía máxima de 3863.28 KJ en la trayectoria 2 y velocidad traslacional de 28.16 m/s en la trayectoria 7. Con estos resultados obtenidos se eligió la capacidad de la barrera a instalar (RXE 5000 system) y la altura que esta tendrá (6.00 m) en una longitud de 270 m, con el fin de mitigar la amenaza de la caída de las rocas. Al realizar el análisis y predecir el riesgo por desprendimiento de rocas, basado en la pendiente de la zona de estudio, las energías durante el modelado y las áreas de las viviendas ubicadas en las faldas del cerro Aparinacu, se elaboran mapas temáticos mostrando los riesgos sin la barrera dinámica y luego incluyendo la barrera dinámica en una longitud de 270 m, resultando que las viviendas a ser afectadas durante un eventual desprendimiento de rocas son: 98 viviendas con nivel de riesgo muy alto, 92 viviendas con riesgo medio y 52 viviendas con riesgo bajo.

RECOMENDACIONES

Realizar, monitoreo permanente a los desprendimientos de rocas por parte de las entidades competentes tales como: gobiernos locales e instituciones de prevención de riesgo (Cenepred e Indeci) y el área de evaluación técnica de peligros geológicos del Ingemmet, para tener una base de datos de eventos que ocurrirán en el cerro Aparinacu, esta servirá de gran ayuda para alertar, sensibilizar y mitigar los riesgos e; inclusive, realizar futuras investigaciones.

Se recomienda realizar proyectos de inversión pública a corto plazo, con el fin de mitigar los riesgos, toda vez que estos problemas afectan a las familias que viven al piedemonte del cerro Aparinacu.

Se propone instalar barreras dinámicas ya que ellas se adecúan mejor a la topografía de la zona y absorbe altas energías ante caídas de rocas de hasta 10000 KJ según (*Geobruigg, 2019*), a diferencia de las barreras estáticas que soportan una energía máxima de 70 KJ, según (*García, 2005, pág. 137*), si esto no fuera posible, reubicar las viviendas de las áreas críticas de riesgo alto y medio, mostradas en los mapas de riesgo de la presente investigación.

Prohibir el acceso de personas y el pastoreo de animales cercanas a las áreas donde brotan los afloramientos rocosos, ya que en ellas se encuentra rocas sueltas, las cuales podrían desprenderse en cualquier momento, con la aplicación de una pequeña fuerza externa sobre esta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.Bianchini Ingenieros S.A. (23/10/2018 de octubre de 2018). *Soluciones en geotecnia y medio ambiente*. Obtenido de https://www.abianchini.es/es/catalogos/.../54_903c190e1bc683ba3412fe57f43e4afa
- Almandalawi, M., You, D., Dowling, K., & Sabry, M. (01 de 01 de 2015). Slope stability and rockfall Hazard analysis in open pit zinc mine. *ResearchGate*, 1143. doi:DOI: 10.21660 / 2015.15.4166
- Álvarez, L., & Moral, A. (23/10/2018 de Octubre de 2018). *Desprendimiento de rocas*. Obtenido de <https://edoc.site/trabajo-desprendimiento-de-rocas-pdf-free.html>: <https://edoc.site/trabajo-desprendimiento-de-rocas-pdf-free.html>
- Arango, I. (2014). *Desprendimiento de rocas en laderas Una guía para la evaluación del riesgo en vías*. Grado de Maestría en Ingeniería, Universidad EAFIT, Medellín. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10784/4491>
- Azzoni, A., Barbera, G., & Zaninetti, A. (1995). Analysis and prediction of rockfalls using a mathematical model. *Elsevier Science Ltd*, 709-724. doi:[https://doi.org/10.1016 / 0148-9062 \(95 \) 00018-C](https://doi.org/10.1016 / 0148-9062 (95) 00018-C)
- Cardona, I. (2016). *Validación de modelos de predicción de deslizamientos mediante el uso de inventarios en escalas sub - regionales*. Medellín, Colombia.
- Castro, R. (2014). *Evaluación del riesgo de desastres por peligros naturales y antrópicos del área urbana del distrito de Punta Hermosa*. Lima, Perú.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres. (2014). *Manual Para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales - 02 Versión*. Lima, Perú. Obtenido de http://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf
- CGI. (2014). *Asesorías, consultorías y estudios en geomecánica y geotecnia*. Obtenido de Centro Geotécnico Internacional: <http://www.centrogeotecnico.com/>
- Correo. (28 de 03 de 2018). Familias del distrito de Ascensión en peligro por caída de rocas de cerro. *DiarioCorreo*. Obtenido de <https://diariocorreo.pe/edicion/huancavelica/familias-del-distrito-de-ascension-en-peligro-por-caida-de-rocas-de-cerro-810464/>
- Duque, G. (2017). *Manual de geología para ingenieros*. Manizales, Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>
- Duzgun, S., & Lacasse, S. (Mayo de 2005). Vulnerability and Acceptable Risk in Integrated Risk Assessment Framework. *Researchgate*, 11. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/320619057_Duzgun_HSB_and_La_casse_S_2005_Vulnerability_and_Acceptable_Risk_in_Integrated_Risk_Assessment_Framework_Proc_of_International_Conference_on_Landslide_Risk_Management_and_18th_Vancouver_Geotechnical_So?_sg

Escamilla, F. (2014). *Caída de fragmentos de roca y metodología para una adecuada modelación*. Maestro en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería - Geotécnica, México. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/7026>

Ewes, L. (2011). Desprendimiento de rocas que generan accidentes fatales en la minera Peruana. 76-78. Huaráz.

García, F. (2005). *Análisis y Diseño de estabilidad sísmica de taludes en suelos y rocas - caso curvas La Leona*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería Civil, Lima. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2923>

Geotechpedia. (24/10/2018 de Octubre de 2018). Obtenido de <https://geotechpedia.com/Software/Tag/1548/rockfall>

Geobrugg. (2019). *Safety is our nature*. Recuperado el 5 de Octubre de 2019, de https://www.geobrugg.com/datei.php?src=portal/downloadcenter/dateien/downloadcenter/level1-brochures/RXE-barrier/L1_Rockfall-RXE_brochure_screen_180730-ES.pdf

Giani, G. (1992). Rock Slope Stability Analysis. (Balkema, Ed.) *ResearchGate*, 7, 191-208. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/37408018>

Gómez, D., & Albinez, L. (12 de 2018). *Caída de rocas del cerro Aparinacu, Sector La Quinta Boliviana, distrito Ascensión, provincia y departamento Huancavelica*. Informe Técnico N° A6854, Ingenmet. Obtenido de <http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/6095>

Gonzales, A., Dulio, O., Ramirez, F., & Gave, J. (2011). *¿Cómo aprender y enseñar investigación científica?* Huancavelica, Perú: Oré Rojas, Juan José.

Guzzetti, F., Crosta, G., Detti, R., & Agliardi, F. (Noviembre de 2002). Stone: A computer program for the three-dimensional simulation of rock-falls. *Elsevier*, 28, 1079-1093. doi:[https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(02\)00025-0](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(02)00025-0)

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2015). *Metodología de la Investigación*. México, México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Instituto Nacional de Defensa Civil. (2006). *Manual Básico Para la Estimación del Riesgo*. Lima, Perú. Obtenido de http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/man_bas_est_riesgo.pdf

- Lara, A. (2016). *Propuesta de una metodología para la obtención de un modelo de riesgo específico de desprendimientos de roca en espacios naturales*. Master Universitario en Ingeniería de Minas, Universidad de Cantabria, Cantabria. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10902/9573>
- Lee, M., & Jones, D. (2004). *Landslide risk assessment* (Primera ed.). Thomas Telford Limited 2004. doi:<https://www.icevirtuallibrary.com/doi/book/10.1680/lra.31715>
- Luza, C., & Sosa, N. (2016). *Caída de rocas en el sector de Huamatambo*. INGEMMET, Huancavelica. Obtenido de http://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/ingemmet/1183/1/A6702-Caida_de_rocas_sector_Huamatambo-Huancavelica.pdf
- Maccaferri. (09 de 2019). *Sistemas contra la caída de rocas: Necesidades y Soluciones*. Obtenido de <https://www.maccaferri.com/br/es/download/brochure-br-sistemas-contra-la-caida-de-rocas-sp-feb21/>
- Marinos, P., Tsiambaos, G., Saroglou, H., & Marinos, V. (01 de Febreo de 2008). Rockfall hazard and risk for a high promontory: Monemvasia historical site, Greece. *ResearchGate*, 423-425. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/283295884_Rockfall_hazard_and_risk_for_a_high_promontory_Monemvasia_historical_site_Greece
- Mineo, S., Pappalardo, G., Mangiameli, M., Campolo, S., & Mussumeci, G. (2018). Rockfall Analysis for Preliminary Hazard Assessment of the Cliff of Taormina Saracen Castle (Sicily). *Sustainability*, 1-18. Obtenido de https://econpapers.repec.org/article/gamjjusta/v_3a10_3ay_3a2018_3ai_3a2_3ap_3a417-_3ad_3a130447.htm
- Ministerio de Fomento. (1996). *Protección contra desprendimientos de rocas: Pantallas dinámicas*. Gobierno de España, Dirección General de Carreteras. España: Centro de publicaciones - Secretaria General Técnica. Obtenido de https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/0710600_1.pdf
- Ministerio de transporte y comunicaciones. (22 de Marzo de 2018). *MTC*. Obtenido de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_4058.pdf
- Morche, W., & Larico, W. (Setiembre de 1996). *Geología del cuadrángulo de Huancavelica 26-n – [Boletín A 73]*. Ingenmet, Lima. Obtenido de Geocatmin Ingenmet: <http://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/ingemmet/196>
- Navarro, P. (2016). *Memoria Descriptiva del Mapa Geológico del Perú - Escala 1:1'000,000*. Ingenmet, Lima. Obtenido de <http://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/613089/MEMORIA+DESCRIPATIVA+DEL+MAPA+GEOLOGICO+DEL+PERU.pdf>

- Netti, T., Castelli, M., & De Biagi, V. (2016). Effect of the Number of Simulations on the Accuracy of a Rockfall Analysis. *ScienceDirect*, 464-469. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.473
- Niño, V. (2011). *Metodología de la Investigación - Diseño y Ejecución*. Bogotá, Colombia: Ediciones la U.
- Okura, Y., Kitahara, H., Sammori, T., & Kawanami, A. (Noviembre de 2000). The effects of rockfall volume on runout distance. *Elsevier*, 109-124. doi:DOI: 10.1016 / S0013-7952 (00) 00049-1
- Pardo, L. A. (2014). Prevención de caída de rocas como medida de seguridad en Mina San Cristóbal. Lima, Perú. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1367>
- Pierson, L., Gullixson, C. F., & Chassie, R. G. (2001). *Rocfall catchement area design guide*. Informe Final, Repository & Open Science Access Portal, Departamento de transporte de los Estados Unidos, Estados Unidos. Obtenido de <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/33961>
- Prieto, S., Rodríguez, M., & Ismael, S. (2007). *Física General 1*. Uruguay.
- Quaas, R. (24 y 25 de Noviembre de 2010). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de http://www.inegi.org.mx/eventos/2010/infgeo/doc/PONENCIA_ROBERTO%20QUAAS_CENAPRED.pdf
- Quaas, R., Gurza, L., & Zepeda, O. (10-14 de August de 2009). *División de Estadística de las Naciones Unidas*. Obtenido de https://unstats.un.org/unsd/geoinfo/RCC/docs/rcca9/presentations/9th_UNRC CA_econf.99_IP24_pres.pdf
- Ramírez, P., & Alejano, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*.
- Rivero, N., & Mayorga, A. (2013). *Evaluación cuantitativa de la vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos por caídas de roca*. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana, Departamento de Ingeniería Civil, Bogotá. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/11156>
- Rocscience. (2003). *Advanced Tutorial*. RocNews. Obtenido de <https://rocscience.com/documents/pdfs/uploads/7741.pdf>
- Sánchez, H., & Carlos, R. (1986). *Metodología y Diseños en la Investigación Científica: Aplicados a la Psicología, Educación y Ciencias Sociales*. Lima, Perú: Mantaro.
- Sociedad Nacional de Minería, Petroleo y Energía. (2004). *Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería*

subterránea. Lima, Perú. Obtenido de <https://enriquemontalar.com/manual-de-geomecanica-aplicada-a-la-prevencion-de-accidentes-por-caida-de-rocas-en-mineria-subterranea/>

Suarez, J. (2013). Zonificación de susceptibilidad amenaza y riesgo. En J. Suarez, *Deslizamientos: Analisis geotecnico* (pág. 56).

Valderrama, S. (2015). *Pasos para la elaborar proyectos de investigación científica*. Lima, Perú: San Marcos E. I. R. L.

Valerio, L. (2012). *Barreras dinámicas a base de materiales convencionales para el control de caídas de rocas*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/2517>

Validación de modelos de predicción de deslizamientos mediante el uso de inventarios en escalas sub - regionales. (2016).

Walter, E. (29 de Octubre de 2012). *Lea donde sea. Cuando quiera*. Obtenido de SCRIB: <https://es.scribd.com/doc/111420193/Estacion-Geomecanica>

Warren, S. (1998). *Rocfall: A Tool for Probabilistic Analysis, Design of Remedial Measures and Prediction of Rock falls*. Tesis para el grado de Master en Ciencias Aplicadas, Universidad de Toronto, Departamento de Postgrado de Ingeniería Civil, Toronto. Obtenido de A thesis submitted in conformity with the requirements

Westermann, G., Riccardi, A., Palacios, O., & Rangel, C. (1980). *Jurásico medio en el Perú. Boletín 9 (D)*. Ingenmet, Lima. Obtenido de <http://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/ingemmet/328>

APÉNDICE

1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “ANÁLISIS Y PREDICCIÓN DE RIESGO POR DESPRENDIMIENTO DE ROCAS EN EL DISTRITO DE ASCENSIÓN - HUANCVELICA”

| DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | OBJETIVOS | MARCO TEÓRICO | HIPÓTESIS | VARIABLES | METODOLOGÍA |
|---|---|--|--|---|--|
| <p>Problema general</p> <p>¿Cuáles son los resultados del análisis y predicción de riesgo por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <p>a. ¿Cuáles son los resultados del análisis y predicción de riesgo en el análisis de trayectorias por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica?</p> <p>b. ¿Cuáles son los resultados del análisis y</p> | <p>Objetivo general</p> <p>Determinar los resultados del análisis y predicción de riesgos por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <p>a. Determinar los resultados del análisis y predicción de riesgo en el análisis de trayectorias por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica.</p> | <p>Antecedentes:</p> <p>A. Internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Azzoni, La Barbera, & Zaninetti, (1995), “<i>Analysis and prediction of Rocfalls using a mathematical model</i>” ▪ Marinos, Tsiambaos, Saroglou, & Marinos, (2008) “<i>Rocfall hazard and risk for a high promontory: Monemvasia historical site, Greece</i>”. ▪ Almandalawi, You, Dowling, & Sabry, (2015) “<i>Slope stability and Rocfall Hazard analysis in open pit zinc mine</i>”. ▪ Netti, Castelli, & De Biagi, (2016) “<i>Effect of the number of simulations on the accuracy of a Rocfall analysis</i>”. ▪ Mineo, Pappalardo, Mangiameli, Campolo,& Mussumeci, (2018) “<i>Rocfall Analysis for Preliminary Hazard Assessment of the Cliff of</i> | <p>Hipótesis general</p> <p>El análisis y predicción de riesgo genera resultados favorables en el desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica. importantes</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <p>a. El análisis y predicción de riesgo genera resultados favorables en el análisis de trayectorias por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica.</p> <p>b. El análisis y predicción de riesgo genera resultados favorables en la validación del modelado con Rocfall por desprendimiento</p> | <p>Identificación de Variables:</p> <p>A. Variable Independiente: Análisis y Predicción de riesgo.</p> <p>Dimensiones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Modelamiento en el software Rocfall. 2. Validación de modelo Rocfall <p>B. Variable Dependiente: Desprendimiento de rocas</p> <p>Dimensiones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis de trayectorias | <p>Tipo: Aplicada.</p> <p>Valderrama (2015, pág. 39)</p> <p>Nivel: Descriptivo.</p> <p>Gonzales, Dulio, Ramírez, & Gave, (2011, pág. 142)</p> <p>Método de Investigación: Método General y Específico.</p> <p>Sánchez & Carlos (1986, pág. 25), citado por Paucar & Franciss (2018, p.94)</p> <p>Diseño de Investigación: Preexperimental de Enfoque Cuantitativo.</p> <p>Hernández, Fernández, & Baptista (2015, pág. 136)</p> <p style="text-align: center;">GE: O₁ x O₂</p> <p>GE: Grupo Experimental O1: Pre Test O2: Post Test X: Manipulación de Variable Independiente</p> <p>Población y Muestra:</p> <p>Población: Para la presente investigación, la población es el cerro Aparinacu, ubicado en el noroeste de la plaza principal del distrito de Ascensión.</p> |

| | | | | |
|--|---|--|---|--|
| <p>predicción de riesgo con la validación del modelo Rocfall por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica?</p> <p>c. ¿Cuáles son los resultados del análisis y predicción de riesgo en el modelamiento con el software Rocfall por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica?</p> | <p>b. Determinar los resultados del análisis y predicción de riesgo con la validación del modelo Rocfall por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica.</p> <p>c. Determinar los resultados del análisis y predicción de riesgo en el modelamiento con el software Rocfall por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica.</p> | <p><i>Taormina Saracen Castle (Sicily)</i>".</p> <p>B. Nacional</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ewes, (2011) "<i>Desprendimiento de rocas que generan accidentes fatales en la minería peruana</i>". ▪ Pardo, (2014) "<i>Prevención de caída de rocas como medida de seguridad en Mina San Cristóbal</i>". <p>C. Local</p> <p>Luza & Sosa (2016) elaboraron el informe técnico N° A6702, cuyo título es denominado "<i>Caída de rocas en el sector de Huamatambo</i>".</p> <p>Gómez & Albinez (2018) elaboraron el informe técnico N° A6854 titulado "<i>Caída de rocas del cerro Aparinacu, sector la Quinta Boliviana</i>".</p> | <p>de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica.</p> <p>c. El análisis y predicción de riesgo genera resultados favorables en el modelamiento con el software Rocfall por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica.</p> | <p>Muestra: La muestra que se toma de la población es no probabilística de carácter intencional, porque la muestra se obtuvo sobre el total de la población.</p> <p>Muestreo: El muestreo es de tipo no probabilístico.</p> <p>Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos</p> <p>Técnicas:</p> <p>La técnica que se utilizará es la observación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Visita de campo ▪ Identificación de áreas inestables ▪ Levantamiento topográfico con RPA ▪ Validación del modelo Rocfall ▪ Modelado de desprendimiento de rocas bidimensional ▪ Análisis de resultados ▪ Determinar la amenaza a la población ▪ Elaboración de mapa de riesgos: valoración a cada nivel de riesgo <p>Instrumentos:</p> <p>Se usará en la tesis los instrumentos siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cámara fotográfica, videos. ▪ Google Earth Pro 7.3.2.5491 (64-bit) ▪ GPS, drone Phatom 4 Pro (RPA). ▪ Agisoft PhotoScan Professional Pro versión 1.4.0 build 5076 (64bit) ▪ GeoCatmin (Aplicativo del Ingemmet) ▪ Autocad Civil 3D 2019 (64-bit) ▪ Excel 2016 (64-bit). ▪ Equipos de laboratorio y tablas de Rocscience. ▪ Rocfall versión 4.039 ▪ Uso de Sistemas de Información Geográfica ArcGIS 10.5 y Qgis 3.8 para la zonificación de áreas de riesgo. <p>Técnicas de Procesamiento de datos:</p> <p>El procesamiento de datos se realizará con los Sistemas Información Geográfica ArcGIS y Qgis hasta la obtención de los mapas de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo.</p> |
|--|---|--|---|--|

TESISTAS: PAITÁN SEDANO, Victor
VENTURA SULLCA, Edman

2. ESTACIONES GEOMECÁNICAS

| EG-01 | | FORMATO DE MAPEO GEOMECÁNICO Q DE BARTON | | | | | | | | | |
|---|---|--|------------------|----------------------------------|----------------|--------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------|----|
| SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q | | | | FRACTURAS POR METRO LINEAL - RQD | | | | | | | |
| PARÁMETROS | | RANGO | | VALOR | # Fract/ml | RQD (%) | # Fract/ml | RQD (%) | # Fract/ml | RQD (%) | |
| RQD % | RQD | 96% | | 96 | 1 | 100 | 11 | 70 | 21 | 38 | |
| Número de discontinuidades | Jn | 1D | | 3 | 2 | 98 | 12 | 66 | 22 | 35 | |
| Número de rugosidad | Jr | Rugosas e irregulares, onduladas | | 3 | 3 | 96 | 13 | 63 | 23 | 33 | |
| Número de alteración | Ja | Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular | | 2 | 4 | 94 | 14 | 59 | 24 | 31 | |
| Número de agua subterránea | Jw | Secas o flujos bajos (5 l/min) | | 1 | 5 | 91 | 15 | 56 | 25 | 29 | |
| Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional) | SRF | Diaclasas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada. | | 5 | 6 | 88 | 16 | 53 | 26 | 27 | |
| | | | | | 7 | 84 | 17 | 49 | 27 | 25 | |
| | | | | | 8 | 81 | 18 | 46 | 28 | 23 | |
| Q = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) x (Jw / SRF) | | | | Q = | 9.6 | 9 | 77 | 19 | 43 | 29 | 21 |
| Q' = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) | | | | Q' = | 48 | 10 | 74 | 20 | 41 | 30 | 20 |
| Q | 1000-400 | 400-100 | 100-40 | 40-10 | 10-4,0 | 4-1,0 | 1-0,1 | 0,1-0,01 | 0,01-0,001 | | |
| DESCRIPCIÓN | EXCEPCIONALMENTE BUENA | EXTREMADAMENTE BUENA | MUY BUENA | BUENA | REGULAR | POBRE | MUY POBRE | EXTREMADAMENTE POBRE | EXCEPCIONALMENTE POBRE | | |
| Nombre del Proyecto: | Análisis y Predicción de riesgo por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica | | | | | | | | | | |
| Nivel: | Superficial | | | | | | | | | | |
| Labor: | Tesis Rocfall | | | | | | | | | | |
| Ejecutado por: | Los tesisistas | | | | | | | | | | |
| Litología | Andesitas y/o Lutitas | | | | | | | | | | |
| Fecha: | 21/07/2019 | | | | | | | | | | |

| EG-02 | | FORMATO DE MAPEO GEOMECÁNICO Q DE BARTON | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|------------------|--------------|----------------|----------------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------|------------|---------|----|
| SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q | | | | | | FRACTURAS POR METRO LINEAL - RQD | | | | | | | |
| PARÁMETROS | | RANGO | | | | VALOR | # Fract/ml | RQD (%) | # Fract/ml | RQD (%) | # Fract/ml | RQD (%) | |
| RQD % | RQD | 66% | | | | 66 | 1 | 100 | 11 | 70 | 21 | 38 | |
| Número de discontinuidades | Jn | 1D | | | | 12 | 2 | 98 | 12 | 66 | 22 | 35 | |
| Número de rugosidad | Jr | Rugosas e irregulares, onduladas | | | | 4 | 3 | 96 | 13 | 63 | 23 | 33 | |
| Número de alteración | Ja | Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular | | | | 2 | 4 | 94 | 14 | 59 | 24 | 31 | |
| Número de agua subterránea | Jw | Secas o flujos bajos (5 l/min) | | | | 1 | 5 | 91 | 15 | 56 | 25 | 29 | |
| Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional) | SRF | Diaclasas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada. | | | | 5 | 6 | 88 | 16 | 53 | 26 | 27 | |
| | | | | | | 7 | 84 | 17 | 49 | 27 | 25 | | |
| | | | | | | 8 | 81 | 18 | 46 | 28 | 23 | | |
| Q = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) x (Jw / SRF) | | | | | | Q = | 2.2 | 9 | 77 | 19 | 43 | 29 | 21 |
| Q' = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) | | | | | | Q' = | 11 | 10 | 74 | 20 | 41 | 30 | 20 |
| Q | 1000-400 | 400-100 | 100-40 | 40-10 | 10-4,0 | 4-1,0 | 1-0,1 | 0,1-0,01 | 0,01-0,001 | | | | |
| DESCRIPCIÓN | EXCEPCIONALMENTE BUENA | EXTREMADAMENTE BUENA | MUY BUENA | BUENA | REGULAR | POBRE | MUY POBRE | EXTREMADAMENTE POBRE | EXCEPCIONALMENTE POBRE | | | | |
| Nombre del Proyecto: | Análisis y Predicción de riesgo por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica | | | | | | | | | | | | |
| Nivel: | Superficial | | | | | | | | | | | | |
| Labor: | Tesis Rocfall | | | | | | | | | | | | |
| Ejecutado por: | Los tesisas | | | | | | | | | | | | |
| Litología | Andesitas y/o Lutitas | | | | | | | | | | | | |
| Fecha: | 21/07/2019 | | | | | | | | | | | | |

| EG-03 | | FORMATO DE MAPEO GEOMECÁNICO Q DE BARTON | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|------------------|--------------|----------------|----------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------|------------|---------|----|
| SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q | | | | | | FRACTURAS POR METRO LINEAL - RQD | | | | | | | |
| PARÁMETROS | | RANGO | | | | VALOR | # Fract/ml | RQD (%) | # Fract/ml | RQD (%) | # Fract/ml | RQD (%) | |
| RQD % | RQD | 81% | | | | 81 | 1 | 100 | 11 | 70 | 21 | 38 | |
| Número de discontinuidades | Jn | 1D | | | | 6 | 2 | 98 | 12 | 66 | 22 | 35 | |
| Número de rugosidad | Jr | Rugosas e irregulares, onduladas | | | | 1.5 | 3 | 96 | 13 | 63 | 23 | 33 | |
| Número de alteración | Ja | Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular | | | | 3 | 4 | 94 | 14 | 59 | 24 | 31 | |
| Número de agua subterránea | Jw | Secas o flujos bajos (5 l/min) | | | | 1 | 5 | 91 | 15 | 56 | 25 | 29 | |
| Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional) | SRF | Diaclasas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada. | | | | 5 | 6 | 88 | 16 | 53 | 26 | 27 | |
| | | | | | | 7 | 84 | 17 | 49 | 27 | 25 | | |
| | | | | | | 8 | 81 | 18 | 46 | 28 | 23 | | |
| Q = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) x (Jw / SRF) | | | | | | Q = | 1.35 | 9 | 77 | 19 | 43 | 29 | 21 |
| Q' = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) | | | | | | Q' = | 6.75 | 10 | 74 | 20 | 41 | 30 | 20 |
| Q | 1000-400 | 400-100 | 100-40 | 40-10 | 10-4,0 | 4-1,0 | 1-0,1 | 0,1-0,01 | 0,01-0,001 | | | | |
| DESCRIPCIÓN | EXCEPCIONALMENTE BUENA | EXTREMENADAMENTE BUENA | MUY BUENA | BUENA | REGULAR | POBRE | MUY POBRE | EXTREMENADAMENTE POBRE | EXCEPCIONALMENTE POBRE | | | | |
| Nombre del Proyecto: | Análisis y Predicción de riesgo por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica | | | | | | | | | | | | |
| Nivel: | Superficial | | | | | | | | | | | | |
| Labor: | Tesis Rocfall | | | | | | | | | | | | |
| Ejecutado por: | Los tesisas | | | | | | | | | | | | |
| Litología | Andesitas y/o Lutitas | | | | | | | | | | | | |
| Fecha: | 21/07/2019 | | | | | | | | | | | | |

| EG-04 | | FORMATO DE MAPEO GEOMECÁNICO Q DE BARTON | | | | | | | | | | |
|---|---|--|------------------|--------------|----------------|----------------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------|---------|----|
| SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q | | | | | | FRACTURAS POR METRO LINEAL - RQD | | | | | | |
| PARÁMETROS | | RANGO | | | VALOR | # Fract/ml | RQD (%) | # Fract/ml | RQD (%) | # Fract/ml | RQD (%) | |
| RQD % | RQD | 31% | | | 31 | 1 | 100 | 11 | 70 | 21 | 38 | |
| Número de discontinuidades | Jn | 1D | | | 15 | 2 | 98 | 12 | 66 | 22 | 35 | |
| Número de rugosidad | Jr | Rugosas e irregulares, onduladas | | | 3 | 3 | 96 | 13 | 63 | 23 | 33 | |
| Número de alteración | Ja | Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular | | | 2 | 4 | 94 | 14 | 59 | 24 | 31 | |
| Número de agua subterránea | Jw | Secas o flujos bajos (5 l/min) | | | 1 | 5 | 91 | 15 | 56 | 25 | 29 | |
| Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional) | SRF | Diaclasas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada. | | | 5 | 6 | 88 | 16 | 53 | 26 | 27 | |
| | | | | | | 7 | 84 | 17 | 49 | 27 | 25 | |
| | | | | | | 8 | 81 | 18 | 46 | 28 | 23 | |
| Q = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) x (Jw / SRF) | | | | | Q = | 0.62 | 9 | 77 | 19 | 43 | 29 | 21 |
| Q' = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) | | | | | Q' = | 3.10 | 10 | 74 | 20 | 41 | 30 | 20 |
| Q | 1000-400 | 400-100 | 100-40 | 40-10 | 10-4,0 | 4-1,0 | 1-0,1 | 0,1-0,01 | 0,01-0,001 | | | |
| DESCRIPCIÓN | EXCEPCIONALMENTE BUENA | EXTREMADAMENTE BUENA | MUY BUENA | BUENA | REGULAR | POBRE | MUY POBRE | EXTREMADAMENTE POBRE | EXCEPCIONALMENTE POBRE | | | |
| Nombre del Proyecto: | Análisis y Predicción de riesgo por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica | | | | | | | | | | | |
| Nivel: | Superficial | | | | | | | | | | | |
| Labor: | Tesis Rocfall | | | | | | | | | | | |
| Ejecutado por: | Los tesisistas | | | | | | | | | | | |
| Litología | Andesitas y/o Lutitas | | | | | | | | | | | |
| Fecha: | 21/07/2019 | | | | | | | | | | | |

| EG-05 | | FORMATO DE MAPEO GEOMECÁNICO Q DE BARTON | | | | | | | | | | |
|---|---|--|-----------|-------|-------------|----------------------------------|-----------|----------------------|------------------------|------------|---------|----|
| SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q | | | | | | FRACTURAS POR METRO LINEAL - RQD | | | | | | |
| PARÁMETROS | | RANGO | | | VALOR | # Fract/ml | RQD (%) | # Fract/ml | RQD (%) | # Fract/ml | RQD (%) | |
| RQD % | RQD | 38% | | | 38 | 1 | 100 | 11 | 70 | 21 | 38 | |
| Número de discontinuidades | Jn | 1D | | | 15 | 2 | 98 | 12 | 66 | 22 | 35 | |
| Número de rugosidad | Jr | Rugosas e irregulares, onduladas | | | 3 | 3 | 96 | 13 | 63 | 23 | 33 | |
| Número de alteración | Ja | Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular | | | 4 | 4 | 94 | 14 | 59 | 24 | 31 | |
| Número de agua subterránea | Jw | Secas o flujos bajos (5 l/min) | | | 1 | 5 | 91 | 15 | 56 | 25 | 29 | |
| Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional) | SRF | Diaclasas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada. | | | 5 | 6 | 88 | 16 | 53 | 26 | 27 | |
| | | | | | | 7 | 84 | 17 | 49 | 27 | 25 | |
| | | | | | | 8 | 81 | 18 | 46 | 28 | 23 | |
| Q = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) x (Jw / SRF) | | | | | Q = | 0.38 | 9 | 77 | 19 | 43 | 29 | 21 |
| Q' = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) | | | | | Q' = | 1.90 | 10 | 74 | 20 | 41 | 30 | 20 |
| Q | 1000-400 | 400-100 | 100-40 | 40-10 | 10-4,0 | 4-1,0 | 1-0,1 | 0,1-0,01 | 0,01-0,001 | | | |
| DESCRIPCIÓN | EXCEPCIONALMENTE BUENA | EXTREMADAMENTE BUENA | MUY BUENA | BUENA | REGULAR | POBRE | MUY POBRE | EXTREMADAMENTE POBRE | EXCEPCIONALMENTE POBRE | | | |
| Nombre del Proyecto: | Análisis y Predicción de riesgo por desprendimiento de rocas en el distrito de Ascensión - Huancavelica | | | | | | | | | | | |
| Nivel: | Superficial | | | | | | | | | | | |
| Labor: | Tesis Rocfall | | | | | | | | | | | |
| Ejecutado por: | Los tesisas | | | | | | | | | | | |
| Litología | Andesitas y/o Lutitas | | | | | | | | | | | |
| Fecha: | 21/07/2019 | | | | | | | | | | | |

3. CONSTANCIA DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL HUANCAMELICA
ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EPICH



"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

EL JEFE DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAMELICA, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA, otorga la presente:

CONSTANCIA

A: **PAITÁN SEADANO Victor y VENTURA SULLCA Edman**, bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica, Facultad de Ciencias de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Huancavelica, quienes han concluido con el desarrollo los siguientes ensayos en los laboratorios de **GEOTECNIA I** de la EPICH:

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
|------|------------------------------------|----------|
| 1 | Análisis de peso unitario de suelo | 08 |

Durante el periodo de ejecución del mes de julio de 2019, del proyecto de tesis: "ANÁLISIS Y PREDICCIÓN DE RIESGOS POR DESPRENDIMIENTO DE ROCAS EN EL DISTRITO DE ASCENSIÓN - HUANCAMELICA".

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para fines que estime por conveniente.

Huancavelica, 23 de octubre de 2019.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL HUANCAMELICA
ÁREA DE PRODUCCIÓN
Msc. Marco Esteban Lopez Barrantes
JEFE

Nº 012-2019

C. C.
Archivo
AP