

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Geológica

“ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA EL DISEÑO Y ESTABILIDAD DEL TALUD “CHULUCANA” DE LA PROGRESIVA 1213+000 AL 1213+500 CARRETERA SAN MARCOS, CAJAMARCA 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo.

Autores:

Bach. Geyny Goicochea Villanueva.

Bach. Jhordann Brandon Vasquez Villena.

Asesor:

Mg. Ing. Miguel Ricardo Portilla Castañeda.

Cajamarca - Perú

2021

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema.....	17
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	17
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	17
1.4. Hipótesis	18
1.4.1. <i>Hipótesis general</i>	18
CAPÍTULO II. MÉTODO	19
2.1. Tipo de investigación.....	19
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	19
2.2.1. <i>Población</i>	19
2.2.2. <i>Muestra</i>	19
2.3. Técnicas e instrumentos.....	20
2.3.1. <i>Técnicas</i>	20
2.3.2. <i>Instrumentos</i>	20
2.3.3. <i>Materiales</i>	21
2.4. Análisis de datos	21
2.5. Procedimiento	21
2.5.1. <i>Etapa Pre-Campo o Gabinete I</i>	21
2.5.2. <i>Etapa de campo</i>	23
2.5.3. <i>Aspectos Generales</i>	24
2.5.4. <i>Etapa Post-Campo o Gabinete II</i>	44
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	52
3.1. Geología.....	52
3.1.1. <i>Geomorfología</i>	52

3.1.2.	<i>Estratigrafía</i>	54
3.1.3.	<i>Depósitos Cuaternarios</i>	55
3.2.	Clasificación Geomecánica	55
3.2.1.	<i>RMR de Bieniawski</i>	55
3.2.2.	<i>GSI de Hoek y Brown</i>	65
3.2.3.	<i>RocData</i>	75
3.2.4.	<i>Tipo de rotura utilizando el software Dips</i>	86
3.3.	Análisis de Estabilidad (FS)	90
3.3.1.	<i>Utilizando Software Swedge</i>	90
3.3.2.	<i>Modificación de la geometría del talud utilizando Software Swedge</i>	101
3.3.3.	<i>Utilizando Software Slide</i>	103
3.3.4.	<i>Modificación de la geometría del talud utilizando Software Slide</i>	107
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		112
4.1.	Discusión	112
4.2.	Conclusiones.....	114
REFERENCIAS		116
ANEXOS		118
ANEXO n.º 1.	Foto Panorámica del Talud.....	118
ANEXO n.º 2.	Roca presente en el talud.....	118
ANEXO n.º 3.	Estaciones de nuestra zona de estudio.....	119
ANEXO n.º 4.	Tomando apuntes y graficando nuestro talud.....	119
ANEXO n.º 5.	Transitabilidad en la zona de estudio.	120
ANEXO n.º 6.	Midiendo el espaciamiento entre discontinuidades.....	121
ANEXO n.º 7.	Llenando la tabla del Mapeo Geomecánico RMR.	121
ANEXO n.º 8.	Toma de datos usando la brújula.....	122
ANEXO n.º 9.	Toma de datos con la wincha.	123
ANEXO n.º 10.	Tomar de coordenadas para el levantamiento topográfico.....	123
ANEXO n.º 11.	Gráfico del GSI usado para el estudio.....	125
ANEXO n.º 12.	Tabla de mapeo geomecánico usado para todas nuestras estaciones.	126
ANEXO n.º 13.	Plano Geológico.	127
ANEXO n.º 14.	Plano Topográfico.	128
ANEXO n.º 15.	Mapa de Suelos.	129
ANEXO n.º 16.	Mapa de Ubicación.....	130
ANEXO n.º 17.	Mapa de Zonificación Sísmica.	131
ANEXO n.º 18.	Mapa de Accesibilidad.	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM-WGS84.....	24
Tabla 2. Ruta a la zona de estudio.....	25
Tabla 3. Estimación en terreno de la resistencia en Compresión Uniaxial.....	26
Tabla 4. Resistencia de algunas rocas sanas en (MPa).	27
Tabla 5. Calculo del RQD.....	28
Tabla 6. Espaciamiento entre discontinuidades.	29
Tabla 7. Persistencia de las discontinuidades.	30
Tabla 8. Aperturas de las discontinuidades.....	30
Tabla 9. Rugosidad de las discontinuidades.	30
Tabla 10. Relleno de las discontinuidades.	31
Tabla 11. Alteración de las discontinuidades.....	31
Tabla 12. Tabla para obtener el parámetro de la presencia del agua.	31
Tabla 13. Orientación de las discontinuidades.....	32
Tabla 14. Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR.....	33
Tabla 15. Ubicación del talud.	46
Tabla 16. Coordenadas UTM-WGS84.....	46
Tabla 17. Datos obtenidos con la brújula.....	49
Tabla 18. Resistencia a la compresión Estación 1.	56
Tabla 19. Cálculo de RQD estación N° 1.	57
Tabla 20. Espaciamiento entre discontinuidades estación N° 1.....	57
Tabla 21. Persistencia estación N° 1.....	57
Tabla 22. Apertura estación N° 1.....	58
Tabla 23. Rugosidad estación N° 1.....	58
Tabla 24. Relleno de las discontinuidades estación N° 1.	58
Tabla 25. Alteración de la roca estación N° 1.....	59
Tabla 26. Presencia de agua estación N° 1.	59
Tabla 27. Orientación de las discontinuidades estación N° 1.....	59
Tabla 28. RMR estación N° 1.	60
Tabla 29. RMR estación N°2.	61
Tabla 30. RMR estación N° 3.	62
Tabla 31. RMR estación N° 4.	63
Tabla 32. RMR estación N° 5.	64
Tabla 33. Tabla de resultados de RMR y GSI.	74
Tabla 34. Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J03 (Estático y Pseudo-estático). 94	
Tabla 35. Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J02 y J03 (Estático y Pseudo-estático).	97
Tabla 36. Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J01 y J03 (Estático y Pseudo-estático).	100
Tabla 37. Análisis del factor de seguridad con Slide v6.0 según Morgenstern- Price y Spencer (Estático y Pseudo-estático).	106
Tabla 38. Análisis del factor de seguridad modificado la geometría con Slide v6.0 según Morgenstern-Price y Spencer (Estático y Pseudo-estático).	110
Tabla 39. Comparativa del factor de seguridad de los softwares Swedge y Slide v6.0 antes de modificar y después de modificar la geometría.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clima y la vegetación presentes en nuestra zona de estudio.....	25
Figura 2. Gráfico para determinar la resistencia a la compresión Uniaxial.....	27
Figura 3. Gráfico para determinar la valoración en porcentaje del RQD.....	28
Figura 4. Gráfico para determinar el espaciamiento entre discontinuidades.....	29
Figura 5. Gráfico para determinar el GSI.....	34
Figura 6. Tomar de la dirección de inclinación y buzamiento.....	35
Figura 7. Toma de la dirección de inclinación en cada una de las estaciones.....	35
Figura 8. Valor del buzamiento con el uso de la brújula.....	36
Figura 9. Cálculo del buzamiento de cada familia con el uso de la brújula.....	36
Figura 10. Cálculo de la resistencia a la compresión.....	37
Figura 11. Resistencia a la compresión del macizo rocoso.....	37
Figura 12. Conteo del número total discontinuidades por unidad de volumen (1m ³).....	38
Figura 13. Medición del espaciamiento entre las discontinuidades.....	39
Figura 14. La altura total del talud.....	40
Figura 15. Medición de la apertura.....	40
Figura 16. Rugosidad que presenta.....	41
Figura 17. Condiciones de relleno.....	41
Figura 18. Roca moderadamente meteorizada.....	42
Figura 19. Humedad del macizo rocoso.....	42
Figura 20. Rumbo y buzamiento de nuestro macizo rocoso.....	43
Figura 21. Zonas sísmicas del Perú.....	45
Figura 22. Colina presente en nuestra zona de estudio con una orientación SW – NE.....	52
Figura 23. Ladera presente en nuestra zona de estudio. Con orientación NE – SW.....	53
Figura 24. Planicie con orientación NE – SW.....	53
Figura 25. Estación N° 1.....	65
Figura 26. GSI para esta estación (N° 1).....	66
Figura 27. Estación N° 2.....	67
Figura 28. GSI para la estación (N° 2).....	68
Figura 29. Estación N° 3.....	69
Figura 30. GSI para la esta estación (N° 3).....	70
Figura 31. Estación N° 4.....	71
Figura 32. GSI para la estación (N° 4).....	72
Figura 33. Estación N° 5.....	73
Figura 34. GSI para la estación (N° 5).....	74
Figura 35. Ingreso de datos al software RocData v5.0.....	75
Figura 36. Ingreso de GSI al software RocData v5.0.....	76
Figura 37. Ingreso del “mi” al RocData v5.0.....	77
Figura 38. Ingreso del factor de disturbancia (D) al software RocData v5.0.....	78
Figura 39. Ingreso del MR al software RocData v5.0.....	79
Figura 40. Ingresamos los datos complementarios al software RocData v5.0.....	80
Figura 41. Valores de la estación 1: mb; s; a; Cohesión; y Ángulo de fricción.....	81
Figura 42. Valores de la estación 2: mb; s; a; Cohesión; y Ángulo de fricción.....	82
Figura 43. Valores de la estación 3: mb; s; a; Cohesión; y Ángulo de fricción.....	83
Figura 44. Valores de la estación 4: mb; s; a; Cohesión; y Ángulo de fricción.....	84
Figura 45. Valores de la estación 5: mb; s; a; Cohesión; y Ángulo de fricción.....	85
Figura 46. Análisis cinemático 1.....	86
Figura 47. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades.....	86
Figura 48. Análisis cinemático 2.....	87

Figura 49. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades.	87
Figura 50. Análisis cinemático 3.	88
Figura 51. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades.	88
Figura 52. Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca.....	89
Figura 53. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb.....	90
Figura 54. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb.....	91
Figura 55. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb.....	92
Figura 56. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb.....	93
Figura 57. Análisis de Sensibilidad.	94
Figura 58. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb.....	95
Figura 59. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb.....	96
Figura 60. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb.....	96
Figura 61. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb.....	97
Figura 62. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb.	98
Figura 63. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb.	99
Figura 64. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb.....	99
Figura 65. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb.....	100
Figura 66. Vista en perfil del talud con reducción del buzamiento..	101
Figura 67. Vista del talud corregido el ángulo de Buzamiento a 60°	102
Figura 68. Análisis de estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones estáticas.....	103
Figura 69. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones estáticas	103
Figura 70. Análisis de estabilidad del talud Chulucana en condiciones estáticas.	104
Figura 71. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones estáticas.	104
Figura 72. Análisis de estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas.....	105
Figura 73. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas.....	105
Figura 74. Análisis de estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas.....	106
Figura 75. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas.....	106
Figura 76. Estabilidad del talud modificando su geometría en condiciones estáticas.	107
Figura 77. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría.	107
Figura 78. Nuevo factor de seguridad tras modificar su geometría.....	108
Figura 79. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría	108
Figura 80. Analisis de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas.....	109
Figura 81. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría.	109
Figura 82. Analisis de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas.....	110
Figura 83. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría.	110

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para calcular el RQD	28
Ecuación 2. Cálculo de RQD	38
Ecuación 3. Cálculo del GSI	47

RESUMEN

La estabilidad de taludes es un tema que poco a poco va cobrando más importancia en las obras civiles debido a que cada vez es más frecuente ver los daños y pérdidas que pueden ocasionar. En el año en curso desarrollamos una investigación en el talud “Chulucana” ubicado en la provincia de “San Marcos” donde se pudo identificar materiales y condiciones que podrían generar un deslizamiento. El presente estudio tiene como objetivo realizar un análisis estático y pseudoestático con el fin de determinar el Factor de Seguridad y a su vez proponer alternativas de solución frente a este problema. Para poder llevar a cabo la investigación se tomó datos en campo estableciendo 5 estaciones, aplicando técnicas de recolección y análisis documental. Los datos obtenidos fueron procesados en el software Swedge (Mohr-Coulomb), AutoCAD 2021, Slide v6.0 (Spencer, Morgenstern-Price, RocData v5.0 en condiciones tanto estáticas como pseudoestáticas obteniendo una valoración de inestabilidad de acuerdo a la norma de proyectos civiles. Gracias al análisis pseudoestático pudimos tener una visión de cómo el talud se comportaría frente a un movimiento sísmico.

Palabras clave: Deslizamiento, Pseudoestático, Geomecánica, Sismicidad.

NOTA DE ACCESO:

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales.

REFERENCIAS

- Alberca, A. (2020). *Estabilización de taludes utilizando geomalla coextruída mono-orientada en el tramo de la carretera Samne-Casmiche, Departamento la Libertad*. Trujillo: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/43281>
- Bazán , O. (2013). *Columna estratigráfica de Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <https://sites.google.com/a/unc.edu.pe/orbasa/recursos>
- Calizaya, F. L. (2020). *Evaluación Geotécnica para la estabilidad de taludes en la trocha carrozable-Acconsaya-sector Cruzhuasa-Corani-Carabaya-Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14725>
- Camavilca, J. (2019). *Análisis de estabilidad de talud y propuesta de estabilización en el Km 93 de la Carretera Central, distrito San Mateo – Huarochirí, Lima 2019*. Trujillo: Univerdad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/40015>
- Ccahuana, S., & Sanchez, J. (2019). *Análisis de estabilidad de talud mediante métodos de equilibrio límite para la Carretera Huancavelica - Lircay entre las progresivas del km 02+700 al km 02+800*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica. Obtenido de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2881>
- Ccora, A. (2019). *Determinación de las condiciones del macizo rocoso en la profundización del avance en la zona Esperanza del nivel 23 mediante un análisis Geomecánico en la Unidad Minera Americana de Cía. Minera Casapalca*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10475>
- Chocce, F. (2018). *Relación entre el control topográfico y estabilidad de taludes de la carretera Puerto Bermúdez - Ciudad Constitución, tramo km 38+360 al km 38+450, región - Pasco 2018*. Trujillo: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/61510>
- Choquehuayta, R. (2019). *Clasificación de la Caracterización Geomecánica en minería subterránea en Morro Pelado de U.E.A Ana María-La Rinconada*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12703>
- Díaz, M., & Rodríguez , J. (2017). *Estudio de la estabilidad de taludes en roca entre los kilómetros 95 al 97 de la carretera Ciudad de Dios-Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12738>
- Falconí, A. (2017). *Análisis geotécnico de los taludes en la carretera Bambamarca - Paccha entre los kilómetros 0 a 30, distrito de Chota, Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1535>
- García, J. (2017). *“Estabilización de taludes de la carretera PE-3N, Km 263+100*. Huánuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizan. Obtenido de <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/UNHEVAL/2849>
- Hoek. (1995). *Geological Strenght Index*. Londres.
- INGEMMET. (2021 de Abril de 2021). *gob.pe*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/ingemmet/noticias/429942-ancash-ingemmet-realizara-evaluacion-geologica-en-huari-tras-deslizamiento>
- Mamani, R. (2016). *Análisis de la estabilidad de taludes en macizo rocoso de la carretera Sina Yanahuaya tramo III - sub tramo 02, a partir de la caracterización geológica y resistencia a la compresión simple*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12729>

- Marín, S. (2019). *Determinación geomecánica de taludes en zonas críticas en la carretera San Juan - Huacraruco entre los kilómetros 3+000 - 6+200*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3465>
- Ministerio de Vivienda. (2016). *Diseño Sismorresistente*. Perú: Norma técnica E030.
- Morales, P. (2019). Deslizamiento en el distrito de San Juan. *Centro de Operaciones de Emergencia Nacional COEN*, 1-2.
- Navarro, J. (2019). *Evaluación geomecánica con fines de estabilidad de talud carretera Mariscal Castilla Huancayo - Huancavelica*. Huancayo: Universidad Peruana Los Andes. Obtenido de <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/926>
- Oblitas, J. (2018). *Guía de investigación científica*. Lima: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-privada-del-norte/metodos/otros/guia-ingenieria-upn-2018/13023098/view>
- Primer Taller Geotécnico Interdivisional. (1997). *Estándares para la caracterización geomecánica de las rocas, estructuras y macizos rocosos*. La Serena.
- SEMANA. (13 de Diciembre de 2020). Cierre total e indefinido en la autopista Medellín-Bogotá. 1-2. Obtenido de <https://www.semana.com/nacion/articulo/cierre-total-e-indefinido-en-la-autopista-medellin-bogota/202008/>
- Suarez, J. (2009). *Comportamiento Sísmico*. México.
- UPC. (2010). *El sostenimiento de túneles basado en las clasificaciones geomecánicas*. E.T.S.E.C.C.P.B. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6215/00.pdf>
- Weather Spark. (03 de Junio de 2021). *Weather Spark*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/>