

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA GEOLÓGICA**

“EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL TRAMO KM 1360+800 A KM 1362+200 DE LA CARRETERA HUALGAYOC – BAMBAMARCA – CAJAMARCA, 2023”

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERA GEÓLOGA

Autores:

Julissa Isamar Acuña Bueno

Luz Marina Galvez Lopez

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

<https://orcid.org/0000-0002-1053-9347>

Cajamarca - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1	Miguel Ricardo Portilla Castañeda	45209190
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Wilder Chuquiruna Chavez	41245114
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Rafael Napoleón Ocas Boñón	42811302
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

REPORTE DE SIMILITUD

EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL TRAMO KM 1360+800 A KM 1362+200 DE LA CARRETERA HUALGAYOC – BAMBAMARCA – CAJAMARCA, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	16%	4%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	docplayer.es Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	doaj.org Fuente de Internet	2%
4	es.weatherspark.com Fuente de Internet	1%
5	tesis.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	es.slideshare.net Fuente de Internet	1%
8	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

Mi tesis dedico con mucho amor a mi hija Shantal Bocanegra Acuña, es mi orgullo y gran motivación para salir adelante, a mis padres Carlos Acuña y Zoila Bueno quienes me dieron la vida y siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes. Me formaron con reglas y con algunas libertades para poder llegar hacer profesional.

A mis hermanas, abuelita y demás familiares en general por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria.

Julissa Acuña

Esta tesis se la dedico principalmente a Dios y a mis padres Carlomagno Gálvez Vásquez y Teresa Amelia López Llanos, quienes me dieron la vida y siempre me apoyaron. Decirles que son mi fortaleza y motivación de cada día para salir adelante que gracias a sus sacrificios y esfuerzos en todos estos años logré llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. a mis hermanas (o) por su apoyo incondicional moralmente y económicamente en el transcurso de mi carrera universitaria.

Luz Gálvez

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a la Universidad Privada Del Norte por haberme aceptado ser parte de ella y abierto la puerta de su seno científico para poder estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir adelante día a día.

Agradezco a mi asesor, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, así como también haber tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de mi tesis.

Para finalizar agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clase durante todos los ciclos de la universidad, ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

Julissa Acuña

Primeramente, agradezco a Dios por la vida y la salud que me ha brindado y por ser el inspirador y darme fuerza cada día para continuar en este proceso académico.

A mis padres y hermanos (a) por su amor, trabajo, y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he llegado lograr hasta aquí.

Agradezco a mi asesor de tesis y docentes de la facultad de Ingeniería Geológica de la Universidad Privada del Norte, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi carrera profesional.

Luz Gálvez

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
REPORTE DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	20
CAPÍTULO III: RESULTADOS	42
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	82
REFERENCIAS	88
ANEXOS	90

Índice de tablas

Tabla 1 Grado de fracturación en función al RQD	24
Tabla 2 Grado de resistencia en función a los golpes de picota.....	24
Tabla 3 Resistencia de la roca	25
Tabla 4 Cálculo del RQD	25
Tabla 5 Separación de las discontinuidades.....	26
Tabla 6 Aberturas de las discontinuidades.....	26
Tabla 7 Continuidad o persistencia de las discontinuidades.....	27
Tabla 8 Rugosidad de las discontinuidades	27
Tabla 9 Relleno de las discontinuidades.....	27
Tabla 10 Alteración de las discontinuidades.....	28
Tabla 11 Determinación de los buzamientos con respecto al efecto relativo con relación al eje de la obra. 28	28
Tabla 12 Valoración para Taludes.....	29
Tabla 13 Cálculo de RMR.....	29
Tabla 14 Coordenadas UTM-WGS84.....	28
Tabla 15 Ruta a la zona de estudio.	30
Tabla 16 Cartografiado Geomecánico	41
Tabla 17 Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR	44
Tabla 18 Ensayo de corte directo estándar en suelos A.S.T.M D 3080	50
Tabla 19 Tabla de la etapa de aplicación de carga.	51
Tabla 20 Parámetros de resistencia de corte.	53
Tabla 21 Mapeo Geomecánico de las discontinuidades	54
Tabla 22 Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J1 (Estático y Pseudo-estático).....	63
Tabla 23 Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J1 (Estático y Pseudo-estático)	67
Tabla 24 Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J1 Y J4 (Estático y Pseudo-estático).....	70
Tabla 25 Condiciones de Análisis de la rotura En Vuelco del Set J3 (Estático y Pseudo-estático)	73
Tabla 26 Condiciones de Análisis para el Talud en suelo (Estático y Pseudo-estático)	77
Tabla 27 Condiciones de Análisis para el Talud (Estático y Pseudo-estático).....	80

Índice de figuras

Figura 1 La Figura muestra una imagen satelital de accesibilidad desde la ciudad de Cajamarca hasta Hualgayoc de Hualgayoc hasta el área de estudio	31
Figura 2 Temperatura Promedio según los meses	32
Figura 3 Promedio mensual de lluvia en Hualgayoc.....	33
Figura 4 Velocidad promedio del viento en Hualgayoc	33
Figura 5 Vegetación del área de estudio	34
Figura 6 Valles juveniles generados por el río Tingo y la quebrada La Eme respectivamente	35
Figura 7 Depósito antrópico ubicado en la parte inicial e inferior del yacimiento y a los márgenes del río Tingo, conformado por desmonte.....	35
Figura 8 Vertiente Montañoso de pendiente elevada y abrupta ubicado en el cerro Las Venadas.	36
Figura 9 Ladera de suave pendiente conformada por depósitos coluviales y también presencia de depósitos antrópicos en la parte inferior.	36
Figura 10 Ploteo de la valoración en MPa de la resistencia a la compresión Uniaxial	42
Figura 11 Ploteo de la valoración en porcentaje del RQD	42
Figura 12 Ploteo de valoración del espaciamiento entre discontinuidades en mm.....	43
Figura 13 Parámetros de estabilidad según el SMR Romana, por lo que el talud se comporta inestable ante una rotura planar	45
Figura 14 Recomendaciones de soporte, en la cual se puede apreciar de que se recomienda la construcción de Cunetas, muro de pie, drenaje y anclaje en el talud.....	46
Figura 15 Ploteo del Valor de GSI, en función de las estructuras y condiciones de las discontinuidades; en el cual se aprecia que el valor de GSI es 55	47
Figura 16 Estimación de JRC mediante la superficie amplitud de la rugosidad.	48
Figura 17 Estimación de la resistencia a la compresión.	49
Figura 18 Esfuerzo de corte, Kg/cm ² , en donde se muestra la aplicación del esfuerzo cortante y envolvente de resistencia, en desplazamiento horizontal y en esfuerzo norma	52
Figura 19 Análisis cinemático de roturas utilizando como criterio para establecer el área crítica el cono de fricción, la envolvente del talud y límites laterales de +-20. Se aprecia que el sistema de discontinuidades J1 y J2 reúne las condiciones geométricas y de fricción para producir una rotura planar	55

Figura 20 Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. Con el 100% de los datos de la familia J1 y el 37.50% de los datos de la familia J2 para producir una rotura planar.....	55
Figura 21 Análisis cinemático de rotura teniendo en cuenta como criterio para definir el área crítica el cono de fricción, y la envolvente del talud. Se aprecia que las intersecciones de los planos de la familia J1 y J4 reúnen las condiciones geométricas y de fricción para producir una rotura en cuña.....	56
Figura 22 Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 24.14% de las intersecciones para producir una rotura en cuña.	56
Figura 23 Análisis cinemático utilizando como criterio para definir el área crítica límites laterales de $\pm 20^\circ$, y un plano auxiliar relacionado al buzamiento del y al ángulo de fricción. Se puede apreciar que la familia J3 cumple las condiciones geométricas y de fricción para producir una rotura en vuelco.....	57
Figura 24 Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. Con el 14.29% de los datos de todas las familia para producir una rotura por vuelco.	57
Figura 25 Ubicación de las coordenadas para la obtención del coeficiente de sismicidad	59
Figura 26 Gráfico de espectro de peligro uniforme con un periodo de retorno de 475 años	60
Figura 27 Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J1.....	61
Figura 28 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se puede apreciar que el talud no cumple las condiciones de completa estabilidad según la Norma, en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 0.94, por lo cual nos indica que el talud no es completamente estable ante una falla planar en estas condiciones	61
Figura 29 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el talud no es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 0.79 por lo que se puede producir una falla planar en estas condiciones.	62
Figura 30 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el talud no es estable en condiciones secas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858, se obtiene un Factor de seguridad de 0.46 por lo cual se podría producir una falla planar en estas condiciones.	62
Figura 31 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858, se obtiene un Factor de seguridad de 0.43 por lo cual se podría producir una falla planar en estas condiciones.	63
Figura 32 Propuesta de estabilidad mediante la instalación de pernos, en la que se aprecia que el talud en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858 se obtiene un Factor de seguridad de 1.45 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.	64

Figura 33 Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J2.	65
Figura 34 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se puede apreciar que el talud no cumple las condiciones de completa estabilidad según la Norma, en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 2.39, por lo cual nos indica que el talud no es completamente estable ante una falla planar en estas condiciones	65
Figura 35 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el talud no es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 2.19 por lo que se puede producir una falla planar en estas condiciones.	66
Figura 36 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el talud no es estable en condiciones secas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858, se obtiene un Factor de seguridad de 1.65 por lo cual se podría producir una falla planar en estas condiciones.	66
Figura 37 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858, se obtiene un Factor de seguridad de 1.49 por lo cual se podría producir una falla planar en estas condiciones.	67
Figura 38 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 2.301, por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.	68
Figura 39 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 2.369 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.	69
Figura 40 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.1858 se obtiene de seguridad de 2.136 por lo cual no se produce la falla en cuña.	69
Figura 41 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.1858 se obtiene de seguridad de 1.977 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.	70
Figura 42 Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J3.....	71
Figura 43 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, en la que se puede apreciar que el talud no cumple las condiciones de completa estabilidad según la Norma, en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 0.91, por lo cual nos indica que el talud no es completamente estable ante una falla en Vuelco en estas condiciones.	71
Figura 44 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, en la que se aprecia que el talud no es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 0.58 por lo que se puede producir una falla en Vuelco en estas condiciones.	72

Figura 45 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, en la que se aprecia que el talud no es estable en condiciones secas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858, se obtiene un Factor de seguridad de 0.62 por lo cual se podría producir una falla en Vuelco en estas condiciones.72

Figura 46 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858, se obtiene un Factor de seguridad de 0.65 por lo cual se podría producir una falla en Vuelco en estas condiciones.73

Figura 47 Propuesta de estabilidad mediante la instalación de pernos con una capacidad de 144 t/m, en la que se aprecia que el talud en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858 se obtiene un Factor de seguridad de 1.32 por lo cual no se produce la falla en Vuelco.74

Figura 48 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud no es completamente estable según la norma con un Factor de seguridad de 1.002 en condiciones estáticas para el talud con una pendiente de 66°.75

Figura 49 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud no completamente estable con un Factor de seguridad de 1.044 en condiciones estáticas para el talud con una pendiente de 66°.75

Figura 50 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.718 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.1858 y un coeficiente vertical de 0.76

Figura 51 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.721 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.1858 y un coeficiente vertical de 0,76

Figura 52 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.831 en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 50°.78

Figura 53 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.831 en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 50°.78

Figura 54 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.366 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.1858 y un coeficiente vertical de 0,79

Figura 55 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.367 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.1858 y un coeficiente vertical de 0,79

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es Realizar la evaluación geomecánica para la estabilidad de taludes en el tramo km 1360+800 a km 1362+200 de la carretera Hualgayoc – Bambamarca – Cajamarca, 2023”; de tal manera que se pueda valorar si la zona es susceptible a deslizamientos por cualquier tipo de agente de movilidad estático o dinámico, dependiendo de los factores de las propiedades del macizo rocoso y la vulnerabilidad de cada espacio de relleno presente en el medio que conforma la formación de estos taludes. La población lo constituye todos los macizos rocosos de los taludes en la carretera Hualgayoc-Bambamarca y la muestra vienen a ser cinco estaciones de macizos rocosos de los taludes, el enfoque es cuantitativo, alcance descriptivo, diseño no experimental de corte transversal, las técnicas empleadas fueron la observación directa y el análisis documental teniendo como instrumentos de recolección de datos a la ficha de observación geomecánica. Se concluye que la evaluación geomecánica mediante el mapeo geomecánico de discontinuidades, empleando los métodos de Bardon Bandis y Mohr Columb, obteniendo valores de los parámetros de un JRC de 6 y un valor de JRC de 183 Mpa, además de un ángulo de fi básico de 32°, teniendo valores cohesión en el material de suelo de 0.308Kg/cm², en tanto la toma de datos de la topografía de los taludes permitio obtener los perfiles y realizar de forma correcta dicha evaluación en las progresivas 1361 + 800 y la progresiva del KM1362+ 100.

PALABRAS CLAVES: Geomecánica, Macizo Rcoso, Estabilidad de Taludes, Sismicidad y Resistencia.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En todos los continentes del mundo las vías se presentan numerosos accidentes, las cuales presentan taludes con fuertes inclinaciones sumado a precipitaciones que se manifiestan a lo largo de todo el año y en distantes estaciones, las cuales meteorizan las rocas y suelos que producen fallamientos y provoca caídas de rocas y colapsos que registren el tránsito en las vías, y en ciertas ocasiones provocan pérdidas humanas en personas que circulan o animales, estos se manifiestan al realizarse cortes de carretera y se puede apreciar movimientos de masa que se origina a raíz de la construcción de la misma, ya que sus pendientes dejan de ser naturales por cortes que realizaron al construir la carretera, (García, 2017).

Al nivel nacional la minería y la ingeniería civil se encuentran con problemas relacionados a la estabilidad de taludes. Cuando se efectúa un análisis de estabilidad de los taludes no existen normativas legales para poder calificar de manera uniforme a los taludes por sus condiciones de estabilidad, falta la normalización por parte del gobierno. El trabajo práctico realizado en nuestro país, es bastante minucioso, por lo que se aconseja que la investigación in situ sea minuciosa (Breña, 2019)..En este país se fomentó el proceso constructivo de la ampliación de la carretera a cuatro carriles en el proyecto: CA – 1 Occidente Tramo: Tecpan (km. 89) – Los Encuentros (km. 124). Debido a la poca experiencia que se tuvo en Guatemala sobre fallas en taludes, rellenos, laderas, etc., y al cambio significativo del clima, se observó un aumento en los problemas de inestabilidad de taludes; ante tal situación, se implementó pseudo técnicamente un procedimiento para identificar las posibles causas de fallas de los

taludes y así efectuar trabajos preventivos y correctivos adecuados a cada talud. (Romero, 2011, pág. 10).

Puma (2022) menciona que los constantes deslizamientos que se producen en la zona, incrementándose sobre todo en épocas de fuerte avenida, para ello se consideran tres taludes más importantes, el objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento geomecánico, determinar las propiedades geofísicas, evaluar el análisis cinemático y calcular el factor de seguridad estático y pseudoestático en cada, se extrajeron muestras representativas para cada estación geomecánica, , los que permiten interpretar las condiciones de los taludes y la valoración geomecánica por: $RQD1 = 66$, $RQD2 = 70$, $RQD3 = 66$; $RMR1 = 56$, $RMR2 = 55$, $RMR3 = 52$; $GSI1 = 51$, $GSI2 = 54$, $GSI3 = 53$; y el factor de seguridad en condiciones estáticas se tiene: $FS1 = 1.4$, $FS2 = 1.3$, $FS3 = 1.4$, para condiciones pseudoestáticas: $FS1 = 1.0$, $FS2 = 1.1$, $FS3 = 1.2$, concluyendo que los taludes son inestables en épocas de fuertes lluvias.

Conteras (2022) en su estudio desarrolló en el distrito de Sina, tuvo como objetivo principal fue determinar cómo influye la evaluación geomecánica para el diseño de reforzamiento en el talud del Cerro Tambillo el cual realizó el mapeo geomecánico lineal de la matriz rocosa orientándose a la evaluación de la estabilidad del talud en macizos rocosos a partir de la caracterización geológica, resistencia a la compresión simple, con la valoración RMR y GSI, que están en razón a las variables desarrolladas en la investigación y el factor de seguridad. Se realizó aplicando la proyección estereográfica, y el método de equilibrio límite para cada tipo de rotura; los resultados obtenidos son; para la estación 1; $RMR=58$, clase III, $GSI=53$, $FS=0,83$, la estación 2; $RMR=60$, clase III, $GSI=55$, $FS=0,88$, estación 3; $RMR=64$, clase II,

GSI=49, FS=0,92. Se determinó el tipo de reforzamiento que se requiere en la parte superior del talud, pernos de anclaje y platina con características de 3 m.

Montoya (2020) en su estudio tuvo como objetivo conocer la influencia de la evaluación geomecánica en la estabilidad de taludes de la cantera. Como resultado se obtuvo que la evaluación geomecánica influye en la estabilidad de los taludes de la cantera Aylambo. Se calculó los parámetros geomecánicos del GSI con un valor de 32 y RMR con un puntaje de 46, siendo este de calidad Regular. Se realizó el análisis cinemático encontrando un 28,57% de deslizamiento por vuelco. Se obtuvo el Factor de Seguridad en condiciones estáticas de 1,010 y un Factor de Seguridad de 0,650 para condiciones pseudoestáticas, Se halló el SMR obtenido como puntuación 43,25 siendo este de clase III b (parcialmente estable). Se propuso medidas de sostenimiento como cunetas al pie de talud, pernos sistemáticos, hormigón lanzado localizado y/o muro de pie; también que el talud conste de 3 bancos.

Arrascue (2021) en su investigación tuvo por finalidad evaluar la estabilidad de taludes mediante la aplicación geomecánica SMR entre los tramos del Km 45 + 940 – Km 46 + 40 de la carretera Chongoyape. para el recojo de información se utilizaron métodos analíticos y sistemáticos y técnicas de investigación documental y la de campo, junto a instrumentos como fichas de análisis documental y cotejo; la guía de observación de campo y de laboratorio, además. Toda esta metodología le da a este informe de investigación el respaldo, sustento y seriedad respectiva. Todo este trabajo permitió concluir que el talud en estudio tiene una valoración que está en los intervalos de 47.5 a 61.25 con respecto al SMR y que requiere medidas de corrección como hormigón proyectado, contrafuerte y/o vigas, muros cribas, redes y/o mallas

Alvarado y Villanueva (2019) realizó un estudio de evaluación geomecánica para la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera "Agocucho", mediante la

caracterización geomecánica del macizo rocoso afectado y la determinación del factor de seguridad de los taludes, por lo que se obtuvo un RMR de 46 , un SMR de 38.5 Y un GSI de 40 y un factor de seguridad de 0.850 y Con los resultados que se obtienen se puede afirmar que existe estabilidad global en los taludes del macizo, así como mediante un estudio más minucioso se logra precisar que existe inestabilidad local en determinados sectores por causa de desprendimientos y voladuras. Dentro de las recomendaciones que se proponen para la estabilidad están: Corrección Geométrica, Construcción de Bermas, Saneamiento y Control de Voladuras.

Marin (2019) se analizó el comportamiento geotécnico de los taludes, así como los factores detonantes, siendo la precipitación, sismicidad y factores geométricos del talud, los que afectan directamente la estabilidad. Esta investigación comprende la evaluación geotécnica de los macizos rocosos que conforman los taludes, determinando las zonas críticas de la carretera, del cual se obtuvo los Factores de Seguridad, entre 0.328 – 0.625 en valores determinísticos y en valores medios de 1.009 – 1.521 y en condiciones de sismicidad variando de 0.115 – 0.384; siendo resultado del análisis de inestabilidad sometida a condiciones de Tensiones Totales y condiciones de sismicidad, según los parámetros geomecánicos y geotécnicos.

(Arteaga, 2017, pág. 18) Señaló que “las evaluaciones y análisis de estabilidad se destinan al diseño de taludes cuando éstos presentan inconvenientes de inestabilidad. Se debe elegir un factor de seguridad adecuado, muy dependiente de cada labor y de las condiciones del talud, junto con los aspectos de seguridad, costos de operación, riesgos que podrían producir su rotura, etc. Una patente importante indicó que el factor de seguridad oscila de 1.5 a 2.0 para taludes”. El factor de seguridad del talud no solo radica en la geometría global, sino en cada parte que

engloba una falla la cual puede provocar un pronto deslizamiento y esto a su vez tapar parte de la carrera mitigando el pase vehicular.

(Carrasco & Urbina, 2019) en su investigación concluyeron que “el factor de seguridad resulta ser óptimo al reducir la resistencia al corte del terreno mediante la minoración paralela de los valores de cohesión y ángulo de rozamiento de los materiales implicados en el deslizamiento”. Los agentes que integraron estos materiales como cohesión y ángulo de rozamiento nos indicaron el factor de falla para luego asegurar el factor de seguridad de este talud sabiendo así la geometría y este cuan inestable es el talud.

La caracterización geomecánica de los macizos rocosos facilita en forma significativa y hace más confiable el pronóstico sobre el comportamiento del macizo rocoso, lo que disminuye la probabilidad de que se produzcan afectaciones de diferentes índoles que puedan atentar tanto la economía como la seguridad de las obras y los trabajadores que se encuentran en ellas. Para cumplimentar la tarea planteada se emplea una metodología integral de investigación que consta de trabajos analíticos y experimentales. La metodología que se desarrolla puede ser aplicada en la caracterización geomecánica de macizos rocosos, tanto en obras subterráneas como de superficie. Como tal esta metodología constituye un aporte científico, ya que incluye aspectos novedosos de gran importancia que permiten evaluar y pronosticar el comportamiento del macizo (Carrillo, Lepolm, Rodríguez, & Zúñiga, 2012).

El método Rock Mass Raiting (RMR) para la clasificación de macizos rocosos fue desarrollado por Bieniawski (1972). Este método permite, de forma sencilla, estimar la calidad del macizo rocoso, mediante la cuantificación de parámetros de fácil medición, los cuales se establecen en el campo de manera rápida y con costos económicos mínimos. El método RMR incluye los siguientes parámetros: resistencia

a la compresión uniaxial de la roca, Rock Quality Designation (RQD), espaciamiento de discontinuidades, condición de las discontinuidades, condición del agua subterránea y orientación de las discontinuidades. Con el valor del RMR es posible establecer algunas propiedades geotécnicas preliminares del macizo, para analizar la estabilidad del talud del frente de explotación actual (Carrillo, Lepolm, Rodríguez, & Zúñiga, 2012).

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona Nor-Este de la Región Cajamarca, geográficamente pertenece a la zona de sierra. El tramo en investigación es el tramo km 1359 y el km 1372 de la carretera Hualgayoc-Bambamarca, Cajamarca 2020. El inicio de la vía se encuentra en la zona urbana del distrito de Hualgayoc, perteneciente a la provincia de Hualgayoc, atraviesa la zona rural y termina en la localidad de Bambamarca. La presente tesis se realizó con fines geológicos, y geomecánicos de rocas-suelos, fluidos y ambientales para el mejoramiento de la estabilidad con relación a los taludes y factores que interrumpen el tránsito en la carretera Hualgayoc-Bambamarca. La investigación se realiza ya que a lo largo de esta carretera se producen deslizamientos con mucha frecuencia, debido a esto se ha escogido el tramo que comprende desde el km 1360+800 a 1362+200. La ejecución del estudio se basa en el tipo de roca existente, puesto que de esto dependerá la evaluación geomecánica de la estabilidad de los taludes.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo la evaluación geomecánica permite la estabilidad de taludes en el tramo km 1360+800 a km 1362+200 de la carretera Hualgayoc – Bambamarca – Cajamarca, 2023””

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Realizar la evaluación geomecánica para la estabilidad de taludes en el tramo km 1360+800 a km 1362+200 de la carretera Hualgayoc – Bambamarca – Cajamarca, 2023”

1.3.2. Objetivos Específicos

Determinar la calidad del macizo rocoso de cada talud en el tramo km 1360+800 al km 1362+200 de la carretera Hualgayoc-Bambamarca.

Evaluar los tipos de rotura que se producirán en los taludes de roca en el tramo km 1360+800 al km 1362+200 de la carretera Hualgayoc-Bambamarca. .

Calcular el factor de seguridad de los taludes en el tramo km 1360+800 al km 1362+200 de la carretera Hualgayoc-Bambamarca.

Realizar una propuesta de estabilidad para los taludes críticos en el tramo km 1360+800 al km 1362+200 de la carretera Hualgayoc-Bambamarca.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

Con los resultados de los parámetros geotécnicos y la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, se podrá diseñar la estabilidad de los taludes en el tramo km 1360+800 y el km 1362+200 de la carretera Hualgayoc-Bambamarca, Cajamarca 2023.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según la finalidad, esta investigación es aplicada puesto que, para llegar al objetivo se busca mecanismos y/o estrategias; según el enfoque es de tipo cuantitativa ya que estudia la realidad empleando cálculos numéricos en función de los datos e interpretando resultados de acuerdo a lo implicado; según su alcance es de tipo descriptivo puesto que se tomarán datos para establecer las características de los parámetros geo mecánicos; es de diseño no experimental ya que no se realizará una manipulación de las variables de corte transversal puesto que, se basa exclusivamente en la observación en un determinado tiempo específico (Sampieri & Mendoza, 2018).

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Todos los macizos rocosos de los taludes en el km 1360+800 km y el km 1362+200, la carretera Hualgayoc-Bambamarca.

2.2.2. Muestra

En esta investigación se consideró cinco estaciones geomecánicas de macizos rocosos de los taludes km 1360+800 km y el km 1362+200, es decir entre Banco Minero y Apán Bajo, en la carretera Hualgayoc-Bambamarca.

Criterios de inclusión: taludes críticos que presentan indicios de inestabilidad

Criterios de exclusión: Taludes que no presentan evidencias de inestabilidad

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Las técnicas de recolección de datos que fueron utilizadas en la presente investigación es el análisis documental, que se basó en la revisión de antecedentes relacionados al tema de nuestra investigación en Revistas especializadas, tesis realizadas, utilizando el internet. La observación directa que consistió en el registro sistemática y confiable de los aspectos geológicos y estudios de estabilidad de taludes y fichas de campo.

Los instrumentos de recolección de datos fueron la ficha de observación geomecánica para el registro de datos geológicos según la clasificación geomecánica de Bieniawski 1989, RQD.

2.4. Procedimiento

Etapa de Pre campo o Gabinete I

En esta etapa se realizó la investigación bibliográfica del tema, en la que se analiza el estado actual de la temática en el país y en el resto del mundo. Los trabajos efectuados en el mundo, en nuestro país y en la región, relacionados con la temática, revisando las bases de datos Scopus, Ebsco, Redalyc y Scielo las cuales proporcionan una información importante para caracterizar el objeto de estudio, es decir la evaluación de los parámetros geomecánicos que afectan la estabilidad de los taludes en las carreteras, ya estudiadas. Sobre la base de esta información existente se determinó el conjunto de métodos de investigación a aplicar.

Etapa de Campo

En esta etapa se realizó el trabajo de campo propiamente dicho, realizándose el mapeo geomecánico de las discontinuidades en los afloramientos de rocas y suelo,

además se extrajeron las muestras para laboratorio y se realizaron ensayos insitu empleando el martillo de schmid y el peine de Barton. Como objeto de la investigación se marcó con pintura lavable de color rojo los 5 tramos (cada 2.6 Km), que circundan los taludes de la carretera entre el km 1360 + 800 km y el km 1362+ 200, es decir entre Banco Minero y Apán Bajo. Luego se realizó la parte experimental de la investigación, que permitió obtener los datos necesarios, para realizar la caracterización geomecánica. Incluyó los siguientes aspectos.

- a. Estudio y evaluación de las condiciones geológicas de los macizos rocosos en el tramo mencionado.
- b. Extracción de muestras de macizo rocoso para que, con el empleo de pruebas de laboratorio, se determine las propiedades físico – mecánicas de las rocas y su procesamiento estadístico.
- c. Con el empleo de la geomecánica se realiza el estudio del agrietamiento de los macizos rocosos, donde se incluyeron todas las superficies de debilitamiento presentes en los mismos, se determinó, la abertura de las grietas, su espaciamiento, rugosidad, alteración, dirección y ángulos de buzamientos y la afluencia de agua, entre otros aspectos.
- d. Se determinan las principales formas de pérdidas de estabilidad y el mecanismo con que ellas se manifiestan en los macizos rocosos, así como las causas que las provocan.
- e. Evaluación de la estabilidad de las rocas por varias metodologías de evaluación de estabilidad de gran actualidad. Este estudio se realizó por tramos de 10 a 15 m, analizando los macizos rocosos de forma diferenciada de acuerdo a su comportamiento y estado.

- f. Para la caracterización de la masa rocosa del área de estudio, se registraron datos a partir del mapeo geotécnico de campo de afloramientos rocosos. El mapeo geotécnico de afloramientos rocosos se llevó a cabo utilizando el "método directo por celdas de detalle". Mediante este método se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en cada estación de medición, representada por un tramo de extensión variable de la roca expuesta. Los parámetros de observación y medición fueron obtenidos en formatos de registro diseñado para este propósito, adecuándolos a las normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). Estos parámetros fueron: tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización y presencia de agua. Adicionalmente se registraron datos sobre la resistencia de la roca y el grado de fracturamiento.

Etapas Post Campo o Gabinete II

De gabinete. En esta etapa se procedió a la interpretación y procesamiento de la información empleando los software rocplane, Swedge, Dips, rocdata, roctopple, slide del paquete rocsince para los datos geomecánicos y el software arcgis para la elaboración de planos y obtención de los perfiles de taludes, además se realizó la evaluación integral y diferenciada de los macizos rocosos empleando las tablas de análisis para la clasificación geomecánica, lo que permitió efectuar su caracterización geomecánica; sobre la base de lo cual se proponen los modelos geomecánicos más representativos del comportamiento de los Macizos rocosos. Las Tablas de análisis para clasificación geomecánica son las siguientes:

Tabla 1
Grado de fracturación en función al RQD

Categoría	Calificación	Separación	Numero de fracturas	RQD (%)
F1	Roca levemente fracturada	>200 cm	menos de 2	> 90
F2	Roca fracturada	60 - 200 cm	2 a 6	75 - 90
F3	Roca muy fracturada	20 - 60 cm	6 a 12	50 - 75
F4	Roca Intensamente fracturada	6 - 20 cm	12 a 20	25 - 50
F5	Roca triturada	< 6cm	más de 20	< 25

Fuente: ISRM (1981)

Tabla 2
Grado de resistencia en función a los golpes de picota

Categoría	Calificación	Resistencia a la compresión	Equivalencia con golpes de picota
R6	Roca muy resistente	>250 Mpa	Se astilla con golpes de picota
R5	Roca resistente	100 - 250 Mpa	Se rompe con varios golpes de picota
R4	Roca moderadamente resistente	50 - 100 Mpa	Se rompe con uno o dos golpes de picota
R3	Roca suave	25 - 50 Mpa	Se disgrega con golpes de picota y esta se indenta superficialmente
R2	Roca muy suave	5- 25 Mpa	
R1	Roca extremadamente suave	1 - 5 Mpa	Se rompe fácilmente con la mano y la picota se indenta profundamente
R0	Roca excepcionalmente	0,25 - 1 Mpa	

Fuente: ISRM (1981)

Tabla 3
Resistencia de la roca

Descripción	Resistencia a la	Ensayo	Valoración
	compresión	de carga puntual	
	Simple	(Mpa)	
Extremadamente dura	> 250		
		> 10	15
Muy Dura	100 – 250	4-10	12
Dura	50 – 100	2-4	7
Moderadamente Dura	25 – 50		
		1-2	4
	5-25		2
Blanda Muy	1-5		1
Blanda	<1	< 1	0

Fuente: (Datos de la investigación, 2020)

Tabla 4
Cálculo del RQD

Descripción del índice de calidad de roca	Valor del RQD (%)	Valoración
Muy pobre	0-25	3
pobre	25-50	8
Regular	50-75	13
Buena	75-90	17
Excelente	90-100	20

Fuente: (Datos de la investigación, 2020)

Tabla 5
Separación de las discontinuidades

Descripción	Espaciado de las juntas	Tipo de macizo rocoso	Valoración
Muy separadas	> 2 m	Sólido	20
Separadas	0.6 - 2 m	Masivo	15
Moderadamente juntas	200 - 600 mm	En bloques	10
Juntas	60 - 200 mm	Fracturado	8
Muy juntas	< 60 mm	Machado	5

Fuente: (Datos de la investigación, 2020)

Tabla 6
Aberturas de las discontinuidades

Grado	Descripción	Separación de las caras	Valoración
1	Abierta	> 5 mm	0
2	Moderadamente abierta	1 - 5 mm	1
3	Cerrada	0.1 - 1 mm	4
4	Muy cerrada	< 0.1 mm	5
5	Ninguna	0	6

Fuente: (Datos de la investigación, 2020)

Tabla 7
Continuidad o persistencia de las discontinuidades

Grado	Descripción	Continuidad	Valoración
1	Muy baja	< 1 m	6
2	Baja	1-5 m	4
3	Media	5 - 10 m	2
4	Alta	10 - 20 m	1
5	Muy Alta	> 20 m	0

Fuente: (Datos de la investigación, 2020)

Tabla 8
Rugosidad de las discontinuidades

Grado	Descripción	Valoración
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plana	0

Fuente: (Datos de la investigación, 2020)

Tabla 9
Relleno de las discontinuidades

Grado	Descripción	Valoración
1	Blando > 5 mm	0
2	Blando < 5 mm	2
3	Duro > 5 mm	2
4	Duro < 5 mm	4
5	Ninguno	6

Fuente: (Datos de la investigación, 2020)

Tabla 10
Alteración de las discontinuidades

Grado	Descripción	Valoración
1	Descompuesta	0
2	Muy alterada	1
3	Moderadamente alterada	3
4	Ligeramente alterada	5
5	No alterada	6

Fuente: (Datos de la investigación, 2020)

Tabla 11
Determinación de los buzamientos con respecto al efecto relativo con relación al eje de la obra.

Dirección Perpendicular al Eje de la obra				Dirección Paralelo al Eje de la obra		Buzamiento 0°-20° Cualquiera dirección
Excav. Con buzamiento		Excav. Contra buzamiento		Buz.	Buz.	
Buz. 45° - 90°	Buz. 20° - 90°	Buz. 45° - 90°	Buz. 20° - 90°	Buz. 45° - 90°	Buz. 20° - 90°	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Desfavorable

Fuente: (Datos de la investigación, 2020)

Tabla 12
Valoración para Taludes

Calificativo	Valoración
Muy favorable	0
Favorable	-5
Medio	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

Fuente: (Datos de la investigación, 2020)

Tabla 13
Cálculo de RMR

CLASE	CALIDAD	VALORACION RMR
I	Muy Buena	100-81
II	Buena	80-61
III	Media	60-41
IV	Mala	40-21
V	Muy mala	<20

Fuente: (Datos de la investigación, 2020)

2.5 Generalidades

Ubicación Geográfica

Geográficamente el área de estudio se encuentra comprendida en la cordillera occidental de los andes, exactamente al Norte de la ciudad de Cajamarca, entre la progresiva 1360+800 al 1362+200 de la carretera Hualcayoc - Bambamarca en la Provincia de Hualgayoc Con Coordenadas: UTM: WGS84, ZONA 17S.

Ubicación Política

Políticamente se encuentra ubicada en:

- ❖ Departamento: Cajamarca.
- ❖ Provincia: Hualgayoc
- ❖ Distrito: Hualgayoc.

Las coordenadas de la zona en estudio son como se describen a continuación.

Tabla 14

Coordenadas UTM-WGS84.

VÉRTICE	ESTE	NORTE
V1	766000	9252500
V2	768200	9252500
V3	768200	9251000
V4	766000	9251000

Nota. En la tabla podemos apreciar los vértices de nuestra zona de estudio con sus respectivas coordenadas este y norte..

ACCESIBILIDAD

Para poder llegar a la zona de estudio tenemos que tener como punto de partida la ciudad de Cajamarca, en el paradero a Bambamarca, ubicado en Jr. Angamos cuadra 11; con un tiempo aproximado de viaje de 02 horas en auto mediante vía asfaltada.

Tabla 15

Ruta a la zona de estudio.

RUTA TERRESTRE	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (MIN)	VÍA
Lima-Cajamarca	865	900	Asfaltada
Cajamarca-Hualgayoc"	100	120	Asfaltada

Nota. En esta tabla podemos apreciar la ruta de accesibilidad para llegar a nuestra zona de estudio, a que distancia se encuentra con respecto a Lima y Cajamarca, tipo de vía y tiempo que tardamos en llegar.
 Fuente: Google Maps.

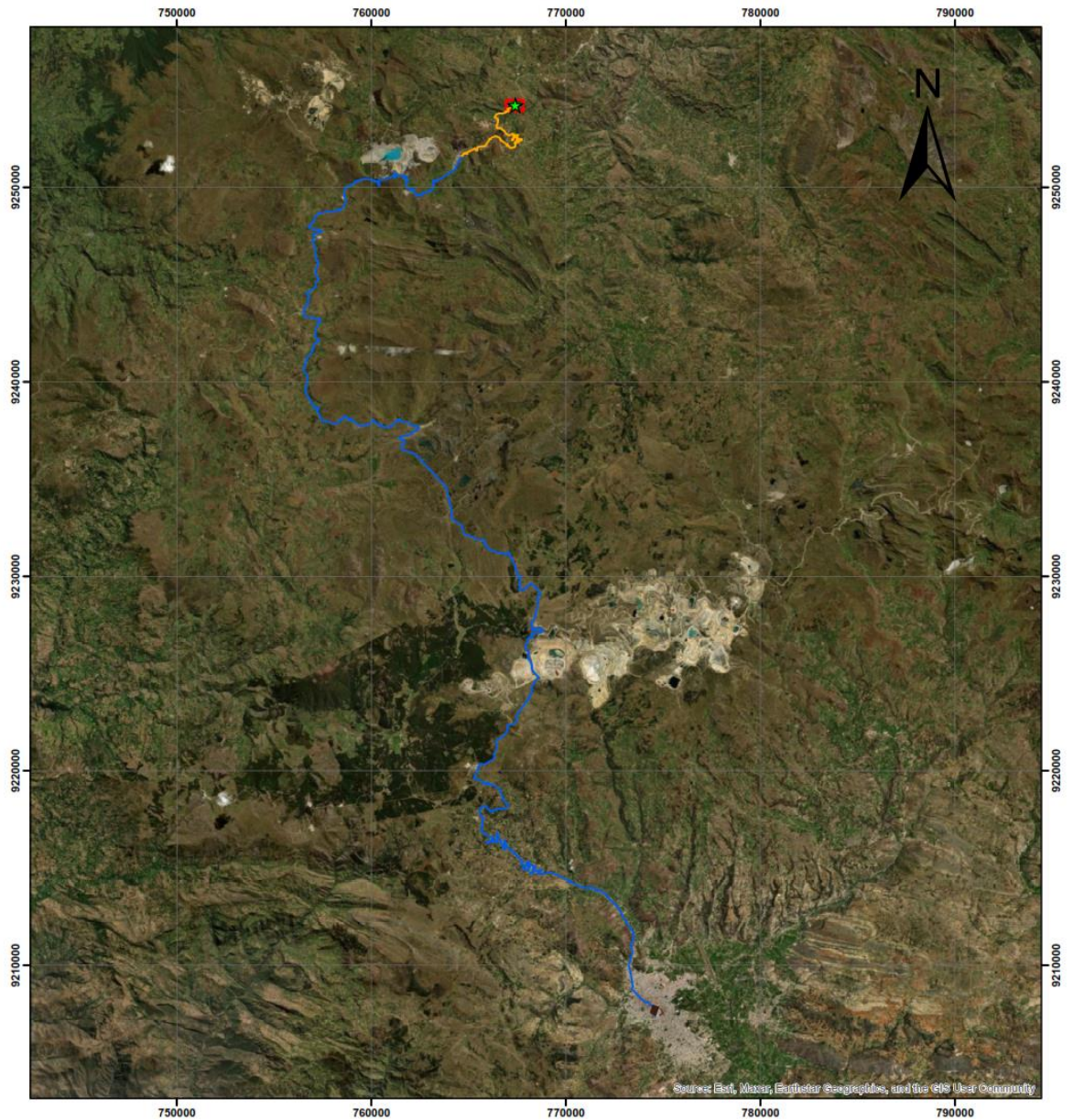


Figura 1. La figura muestra una imagen satelital de accesibilidad desde la ciudad de Cajamarca hasta Hualgayoc y de Hualgayoc hasta el área de estudio Fuente: Google Earth

CLIMA

En Hualgayoc, los veranos son frescos y nublados y los inviernos son cortos, muy frío, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ y rara vez baja a menos de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ o sube a más de $16\text{ }^{\circ}\text{C}$, la mejor época en Hualgayoc es a finales de agosto hasta principios de octubre y desde mediados de diciembre hasta mediados de febrero.

Temperatura Promedio de Hualgayoc

La temporada templada dura 3.1 meses, del 16 de diciembre al 20 de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 13 °C. El mes más cálido del año en Hualgayoc es febrero, con una temperatura máxima promedio de 13 °C y mínima de 2 °C (SENAHMI, 2022).

La temporada fría dura 1.8 meses, del 3 de junio al 28 de julio, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 12 °C. El mes más frío del año en Hualgayoc es Julio, con una temperatura mínima promedio de -1 °C y máxima de 11 °C.

Figura 1

Temperatura Promedio según los meses.

Promedio	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Máxima	14 °C	13 °C	13 °C	13 °C	12 °C	11 °C	11 °C	12 °C	13 °C	13 °C	13 °C	13 °C
Temp.	6 °C	7 °C	6 °C	6 °C	5 °C	4 °C	4 °C	5 °C	5 °C	6 °C	6 °C	6 °C
Mínima	2 °C	2 °C	2 °C	1 °C	0 °C	-1 °C	-1 °C	-1 °C	0 °C	1 °C	1 °C	1 °C

Temporada de lluvia

En Hualgayoc, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía extremadamente en el transcurso del año.

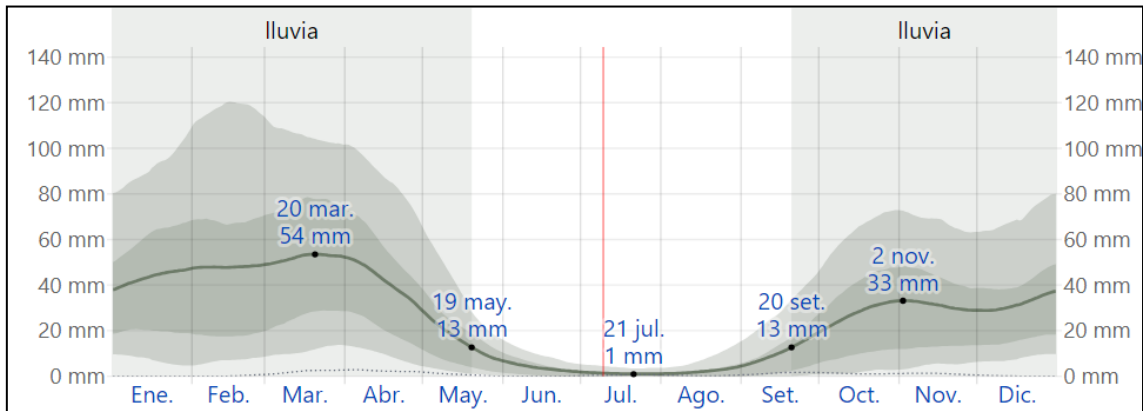
La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 24 de setiembre; dura 7.3 meses y se termina aproximadamente el 1 de mayo.

La temporada de lluvia dura 8.0 meses, del 20 de setiembre al 19 de mayo, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. El mes con más lluvia en Hualgayoc es marzo, con un promedio de 53 milímetros de lluvia.

El periodo del año sin lluvia dura 4.0 meses, del 19 de mayo al 20 de setiembre. El mes con menos lluvia en Hualgayoc es Julio, con un promedio de 1 milímetros de lluvia.

Figura 2

Promedio mensual de lluvia en Hualgayoc



Tiempo de viento en Hualgayoc

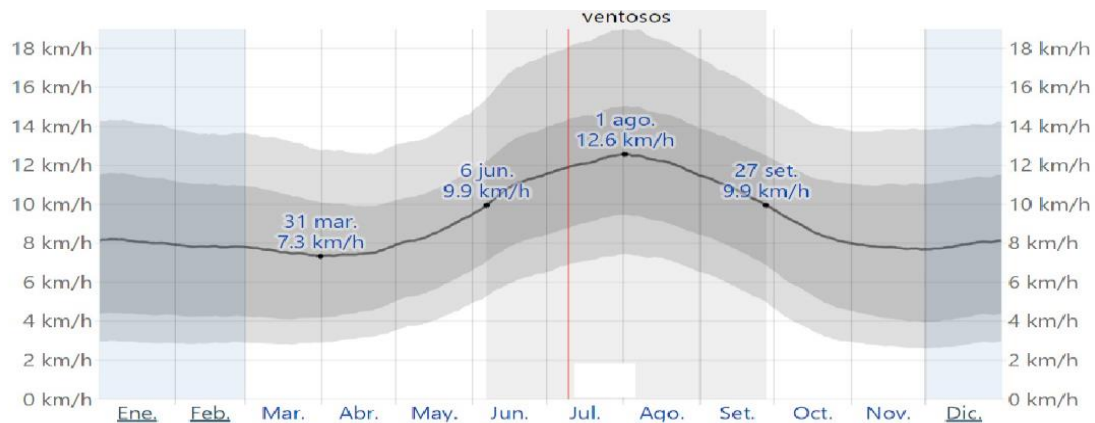
La velocidad promedio del viento por hora en Hualgayoc tiene variaciones estacionales considerables en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 3.7 meses, del 6 de junio al 27 de setiembre, con velocidades promedio del viento de más de 9.9 kilómetros por hora. El mes más *ventoso* del año en Hualgayoc es Julio, con vientos a una velocidad promedio de 12.1 kilómetros por hora.

El tiempo más *calmado* del año dura 8.3 meses, del 27 de setiembre al 6 de junio. El mes más calmado del año en Hualgayoc es abril, con vientos a una velocidad promedio de 7.5 kilómetros por hora.

Figura 3

Velocidad promedio del viento en Hualgayoc

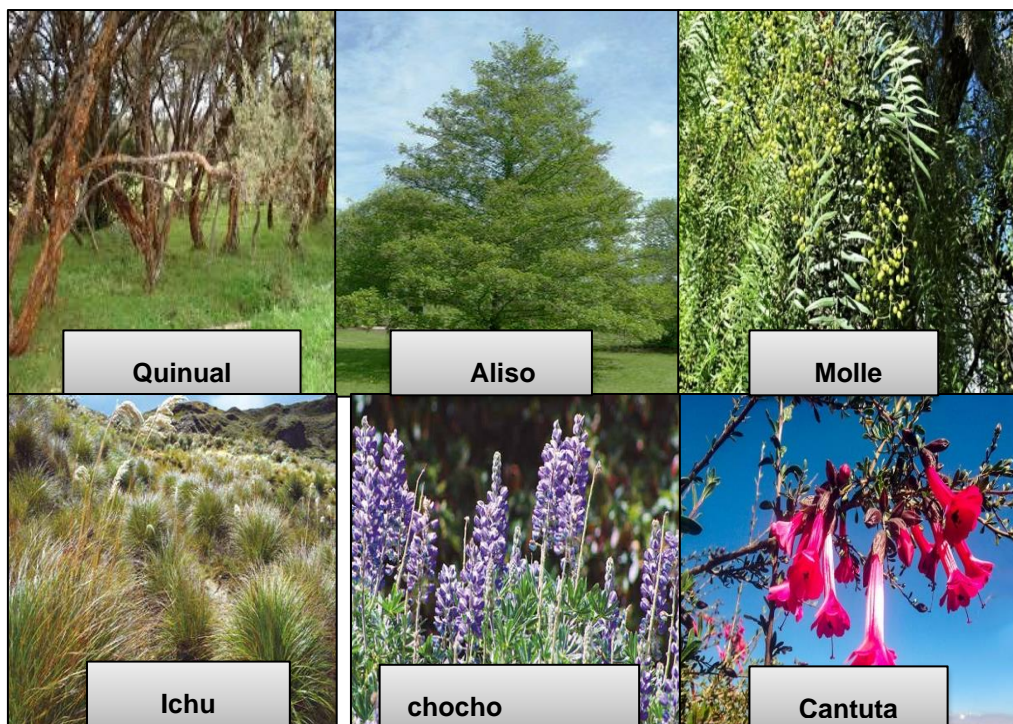


Vegetación

La vegetación es variada, acorde con los pisos altitudinales del distrito y generalmente a condiciones ajenas a los espacios naturales. Respecto a la flora, hay que mencionar la existencia de árboles como aliso, lanche, molle, sauce, quinquinal, hualango, etc., con frecuentes talas indiscriminadas. Asimismo, especies arbustivas y herbáceas, como cola de caballo, helechos, ortigas, carhuacashuas, pencas, etc. En las partes altas, es frecuente el ichu, lirios, yerbas diversas, caracterizadas por su forma cilíndrica, con terminaciones

Figura 5 :

Vegetación del área de estudio



GEOMORFOLOGÍA

La zona presenta relieves accidentados, propios de una actividad de intensa meteorización y erosión, se encuentra 4 unidades geomorfológicas que se describen a continuación (Cacho, 2021).

1. Unidad Geomorfológica Fluvial (Fc)

Los procesos Fluviales, que erosionan y sedimentan en la superficie del terreno, vienen a ser los ríos y quebradas que lo conforman, el río Tingo, La Eme, Las Venadas, El Puente de la Hierba, el caudal del río es variable y depende de las épocas de estiaje en las cuales en los meses más lluviosos enero- marzo el caudal es mayor y por lo tanto se tiene mayor cantidad de sedimentos transportados y sedimentados.



Figura 6 Valles juveniles generados por el río Tingo y la quebrada La Eme respectivamente.

2. Unidad Geomorfológica Antrópica (Ac)

Es realizada por la intervención de la mano del hombre, las empresas mineras que operan en el área han alterado el relieve teniendo así en el área: presa de relaves, tajos y campamentos mineros.



Figura 7 Depósito antrópico ubicado en la parte inicial e inferior del yacimiento y a los márgenes del río Tingo, conformado por desmonte.

3. Unidad Geomorfológica Montañosa (Sm)

Los procesos estructurales que han deformado a las rocas sedimentarias de las Formaciones: Chúlec, Pariatambo y Yumagual; se observan en bloques afectados y diferenciándose en campo por sus afloramientos de escarpes rocosos.



Figura 8. Vertiente Montañosa de pendiente elevada y abrupta ubicado en el cerro Las Venadas.

4. Unidad Geomorfológica de Ladera Denudacional Estable (De).

El proceso principal que ha formado estas unidades, son los procesos exógenos, que han meteorizado y erosionado a las rocas sedimentarias y volcánicas, y representan a laderas con baja pendiente menor a 20°, las cuales están compuestas por depósitos coluviales, la meteorización en estas laderas es baja lo cual les da estabilidad.



Figura 9. Ladera de suave pendiente conformada por depósitos coluviales y también presencia de depósitos antrópicos en la parte inferior.

GEOLOGÍA REGIONAL

En el área de estudio se a identificado nueve unidades litoestratigráficas según el mapa geológico de la carta geológica nacional (INGEMMET, 2014)

GRUPO PULLUICANA

El Grupo Pulluicana está representado por aproximadamente 800 a 1,100 m. de calizas, margas y lutitas. La litología predominante es una caliza arcillosa, grisácea, que intemperiza crema o marrón claro y que se presenta en capas medianas, nodulares o irregularmente estratificadas. Intercaladas con las calizas hay capas de margas marrones y lutitas grisáceas o verdosas, así como algunas capas de limolitas y areniscas.

Las proporciones de las calizas, margas y lutitas son variables, con predominio de las calizas.

Dirigiéndose al este, norte y oeste, el Grupo Pulluicana muestra cambios importantes de grosor y litología. El grupo se adelgaza hacia el este de tal manera que estaría representado por solamente algunos cientos de metros de caliza

FORMACIÓN PARIATAMBO

La Formación Pariatambo suprayace concordantemente a las margas, lutitas y calizas de la Formación Chúlec. El contacto superior, con el Grupo Pulluicana, es generalmente concordante, pero fácil de reconocer por el cambio hacia arriba de calizas oscuras y toba a bancos más potentes de caliza gris clara.

Presenta un grosor de 150-250 m. de caliza con intercalaciones delgadas de lutitas. La caliza es fina de color negro, bituminosa y generalmente tiene un olor fétido. Su estratificación es delgada y uniforme, de tal manera que forma lajas bastante características.

Las lutitas son negras y bituminosas y ocurren como intercalaciones delgadas entre las capas calcáreas, esta facie de la Formación Pariatambo es bien fosilífera.

FORMACIÓN CHULEC

La Formación Chulec consiste de algunas decenas y hasta algunas centenas de metros de lutitas, margas y calizas nodulares. Aflora en casi toda la región, materia del presente estudio y se caracteriza por presentar un color de intemperismo generalmente crema o gris amarillento, los sedimentos componentes de la Formación Chúlec son mayormente blandos.

Consiste en capas delgadas bien estratificadas de lutitas gris, marga amarillenta y calizas marrón crema. Las calizas son lutáceas o margosas, generalmente se presentan en capas delgadas y nodulares.

La Formación Chúlec representa una segunda etapa de la transgresión marina del Albiano. La naturaleza arcillosa del material clástico hace suponer que el mar durante esta deposición de sedimentos alcanzó una mayor profundidad que la que predominó durante la deposición de la Formación Inca, aunque en general, el mar era somero

GRUPO GOYLLARIQUIZGA

Litológicamente este grupo consiste en cuarcitas blancas masivas y areniscas generalmente de grano medio y color blanquecino, en la parte inferior, con intercalaciones delgadas de lutitas marrones y grises en la parte superior. Su grosor oscila entre los 200 y 500 m., con tendencia a adelgazarse hacia el oeste.

El grosor de la formación varía bastante debido a factores paleotectónicos. Alcanza un máximo de 700 a 800 m. Esta área corresponde al brazo del miogeosinclinal que se prolonga al norte de Cajamarca. Es en esta misma parte donde se encuentran mantos más o menos extensos de carbón, intercalados con las cuarcitas y lutitas.

La ausencia de fósiles en este grupo, no permite determinar su edad con precisión, pero sus relaciones estratigráficas son las mismas a las encontradas en las regiones vecinas y los Andes Centrales del Perú, por lo que se le asigna al Neocomiano-Aptiano.

FORMACIÓN INCA

La Formación Inca yace discordantemente sobre los sedimentos clásticos de la Formación Goyllariquizga. A pesar del hecho de que ambas unidades son mayormente arenosas, el contacto está bien marcado por contraste entre las cuarcitas blanquecinas de la Formación Goyllariquizga y los sedimentos ferruginosos de la Formación Inca.

La Formación Inca varía en grosor de 4 m. a más de 100 m. en la región. Las secciones más delgadas están en el sector occidental. Se nota un aumento de grosor alcanzando un espesor promedio de 60-80 m.

VOLCÁNICO HUAMBOS

El volcánico Huambos está compuesto por tobas y brechas de composición mayormente ácida. La litología común muestra fragmentos de cuarzo hasta de 3 mm. de diámetro y cristales euhedrales de biotita en una matriz feldespática que probablemente corresponde a una toba dacítica. También se encuentran brecha dacíticas compuestas por bloques grandes de toba envueltos por una matriz tobácea, Tanto las brechas como las tobas suelen contener fragmentos de pómez de textura fibrosa y de color blanco. Aunque la mayor parte de la formación está constituida por piroclásticos ácidos, también se encuentran capas de toba andesítica que se distinguen generalmente por sus colores

rojizos o morados. En contraste los piroclásticos ácidos muestran tonos claros de gris verde, rosado o amarillo.

GRUPO QUILQUIÑÁN

El Grupo Quilquiñán suprayace al Grupo Pulluicana e infrayace a la Formación Cajamarca. Ambos contactos son concordantes. El contacto inferior está sobre el último banco de caliza nodular o arenisca calcárea del Grupo Pulluicana. El contacto superior es reconocible por la aparición de la primera capa de caliza fina y pura de la Formación Cajamarca. En ambos casos existe un contraste nítido con el material arcilloso del Grupo Quilquiñán

El grupo consiste en lutitas grises oscuras y margas azuladas en capas delgadas que intemperizan a marrón oscuro o marrón rojizo. las características de la formación es que es muy fosilífera. También se encuentran intercalaciones delgadas, de 10 a 15 cm de grosor, de margas porosas y ferruginosas. Las calizas que se intercalan con las lutitas y margas son generalmente delgadas y escasas, aumentando en importancia hacia el este.

FORMACIÓN CAJAMARCA

La Formación Cajamarca está compuesta por 100 a 400 m de espesor de un afloramiento de calizas, está limitada por contactos concordantes con la Formación Celendín en la parte superior y con el Grupo Quilquiñán en la base, con presencia de Calizas gris azuladas, con delgadas intercalaciones de lutitas y margas.

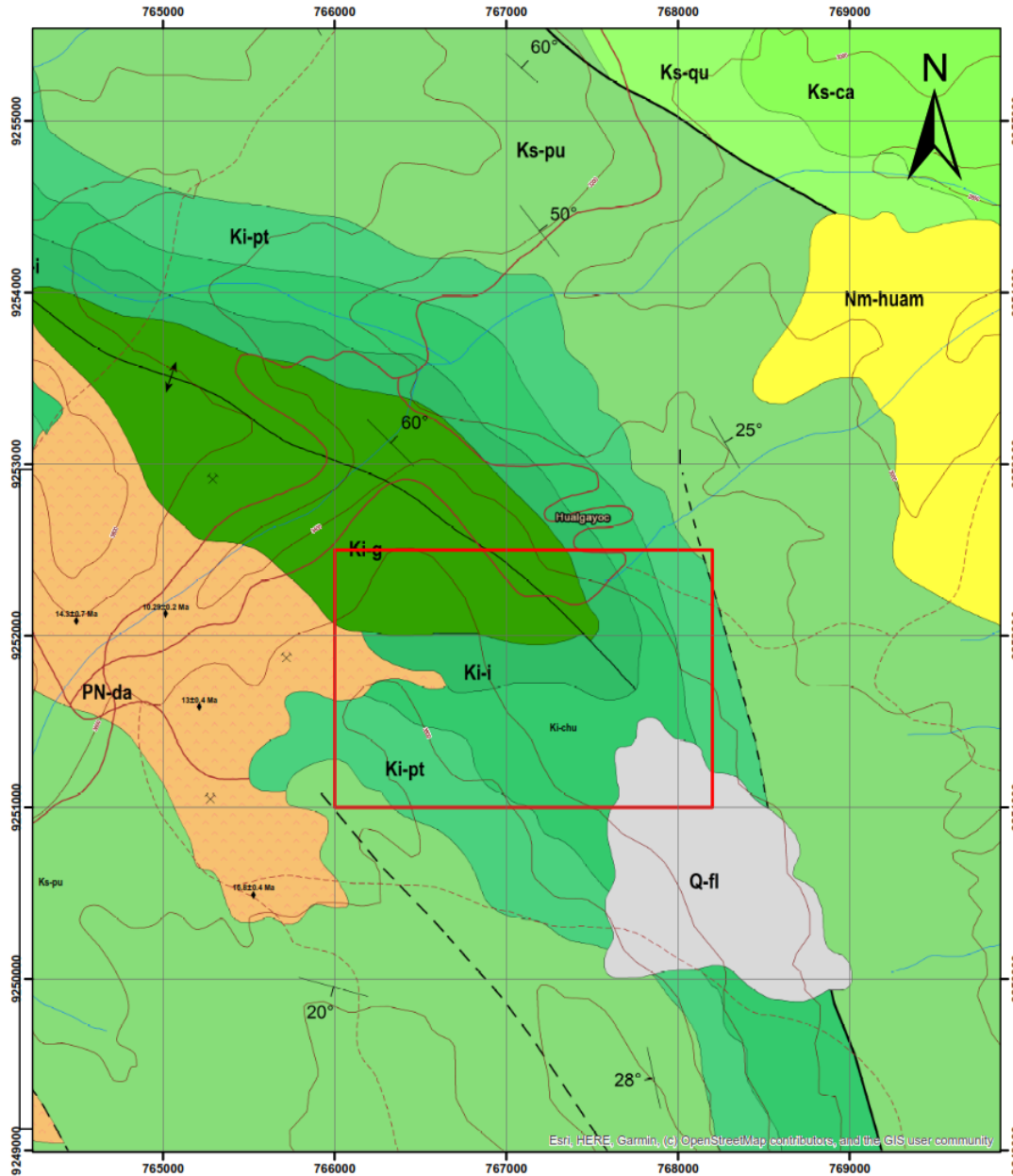
El contacto inferior está ubicado debajo del primer banco de caliza fina y pura que yace encima de las lutitas del Grupo Quilquiñán. El techo de la formación queda debajo de la primera capa de marga y caliza nodular correspondiente a la Formación Celendín. En ambos casos se trata de contactos nítidos con cambios abruptos de litología

La Formación tiene una litología bastante uniforme a través de la región. Consiste en una caliza fina y pura, color marrón claro que intermperiza a tonos blanquecinos o gris claros. La caliza está bien estratificada en capas delgadas a medianas. En muchas áreas la caliza es tan fina y pura que prácticamente constituye una caliza litográfica, la unidad es bastante fosilífera.

DEPÓSITO FLUVIAL

Están constituidos por gravas con clastos redondos envueltos en una matriz arenosa, con pequeños lentes arenosos y limos, etc. Formando los pisos de los valles, el cauce de los ríos y quebradas

PLANO GEOLÓGICO DE HUALGAYOC

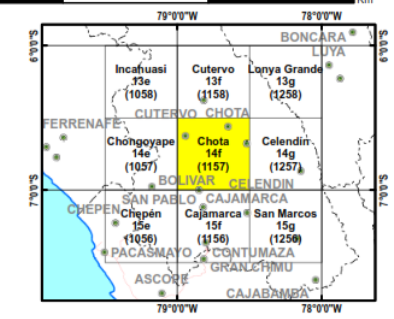


LEYENDA						
ERATA	SERIE	EDAD (Ma)	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	ROCAS SUBVOLCÁNICAS		
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito fluvial Q-fl	Gravas con clastos redondeados envueltos en una matriz arenosa, con pequeños lentes arenosos. Formando el cauce de los ríos.	Dacita	
		PLEISTOCENO			PN-da	
		PLIOCENO				
		MIOCENO	F. Huambos Nm-huam	Tobas y brechas dacíticas, con fragmentos de pómez, presenta niveles de tobas andesíticas rojas. Estratos medios a gruesos bien estratificados.		
		OLIGOCENO				
		EOCENO				
MESOZOICO	CRETÁCICO	100.0	F. Cajamarca Ks-ca	Calizas grisáceas o blanquechas con estratificación regular y uniforme. Espesor aproximado de 200 m.		
			G. Quilquán Ks-qu	Lutitas friables gris oscuras a negras y niveles de margas gris azuladas, intercaladas con delgados niveles de calizas.		
			G. Putulcana Ks-pu	Intercalación de calizas grises, lutitas friables gris oscuras a negras y niveles de margas.		
			Formación Pariatambo Ki-pt	Calizas negras, bituminosas, con olor fétido intercalada con delgados niveles de lutitas negras.		
			Formación Chulec Ki-chu	Lutitas grises, margas amarillentas y calizas lutáceas delgadas y nodulares marrones crema.		
			Formación Inca Ki-i	Caliza masiva arenosa, brechas calcáreas, areniscas y lutitas ferruginosas en capas delgadas intercaladas con caliza impura.		
			F. Farrat Ki-f	Areniscas, cuarcitas blanquechas y marmoles bien estratificados en capas medianas e intercaladas con horizontes de lutitas grises, marmoles y rosadas.		
			F. Carhuaz Ki-ca	Lutitas arenosas parbo rigidas, intercaladas con limonitas marmoles rojas y lechos de cuarcita parbo grisicosa y ocasionalmente capaz de calizas grises de grano fino.		
			G. Goyllayuzán Ki-g			
			INFERIOR			



SÍMBOLOS

- Rumbo y buzamiento de estratos
- Falla normal
- Eje de anticlinal
- Contacto geológico
- Contacto geológico inferido
- Mina activa
- Curva de nivel - Primaria
- Río principal
- Carretera asfaltada, dos o mas vías
- Carretera afirmada, transitable
- Camino carrozable

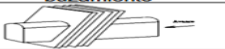

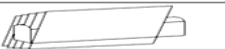


UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
Carrera de Ingeniería Geológica			
EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL TRAMO KM 1360+800 A KM 1362+200 DE LA CARRETERA HUALGAYOC - BAMBAMARCA - CAJAMARCA, 2023			
	PLANO: GEOLÓGICO Regional		PLANO N° 02
	DPTO Cajamarca	PROV. Hualgayoc	DISTRITO Hualgayoc
Sistema de coordenadas: UTM-WGS84		ESCALA: 1:25000	

Esri, HERE, Garmin, © OpenStreetMap contributors, and the GIS user community

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Tabla 16 Cartografiado Geomecánico

MAPEO GEOMECANICO RMR MAPEO LINEAL				Coordenadas: E 766012 N 9252583 cota 2861 msnm.		Talud Carretera- Chicche - Encañada		CLASIFICACION DEL MACIZO		
				Ubicación: Hualgayoc		Fecha: 10-06-2023.		ROCO SO RMR		
				Litología: Areniscas y Volcánicos		Elaborado mediante- estaciones geomecánicas		RMR	DESCRIPCION	
Registro N.º		01		Rumbo perpendicular al eje de la excavacion Direccion con el buzamiento		Rumbo paralelo al eje de la excavacion Direccion contra el buzamiento		Buzamiento 0-20° independient e del rumbo		
										
				Bz		Bz		Bz		
				45°-90°		20°-45°		45°-90°		
				Muy Favorable		Favorable		Muy Desfavorable		
				0		-2		-12		
				Regular		Desfavorable		Regular		
				-5		-10		-5		
				-10		-10		-10		
ESTACIÓN 1	σc	RQD	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea	Orientación Discontinuidades
	Resistencia a la Compresión			Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteración		
	1.- > 250 MPa 2.- 100-250 MPa 3.- 50-100 MPa 4.- 25-50 MPa 5.- < 25 MPa	1.- 90-100% 2.- 75-90% 3.- 50-75% 4.- 25-50% 5.- < 25%	1.- >2 m 2.- 0.6-2 m 3.- 200-600 mm 4.- 60-200 mm 5.- < 60 mm	1.- < 1m 2.- 1-3 m 3.- 3-10 m 4.- 10-20 m 5.- > 20 m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta < 0.1mm 3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugosa 4.- Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada	1.- Completamente seco 2.- Húmedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo	1.- Muy favorable 2.- Favorable 3.- Regular 4.- Desfavorable 5.- Muy desfavorable
	1 (182MPa)	(65)	(22)	(8m)	(1mm)	2	5	3	2	0
2 (184MPa)	(63)	(32)	(14m)	(1mm)	2	5	3	2	0	
3 (181MPa)	(64)	(19)	(16m)	(3mm)	1	1	3	2	0	
4 (183MPa)	(62)	(22)	(20m)	(3mm)	2	5	2	2	0	
PROMEDIO:										
182.5 (13.3)		63.5 (12)	23(9)	15(1)	2 (1)	2 (5)	4(2)	3 (3)	15	0
									REGULAR A	

Observamos que en esta estación el RMR Básico es 61.3, y el tipo de roca es Regular A. Fuente: Bieniawski.

Para la obtención de la puntuación de los parámetros de la resistencia la compresión simple se utilizó la siguiente figura:

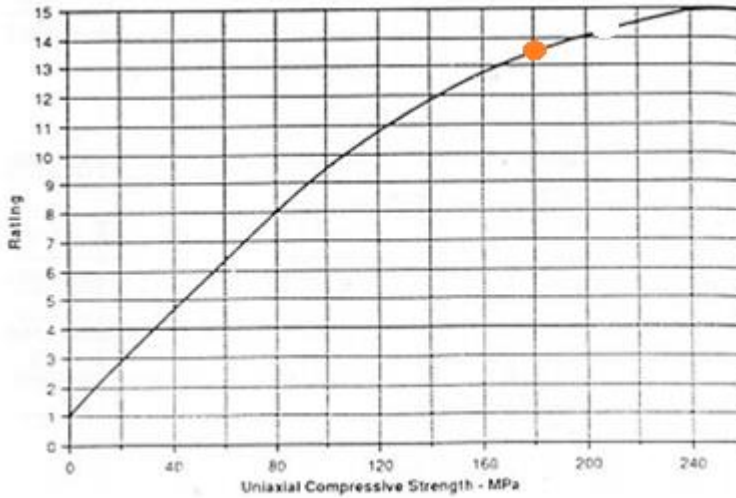


Figura 10: Ploteo de la valoración en MPa de la resistencia a la compresión Uniaxial.

Fuente: Gavilanes (2002).

Asimismo, para la puntuación de los parámetros de RQD se empleó la siguiente figura

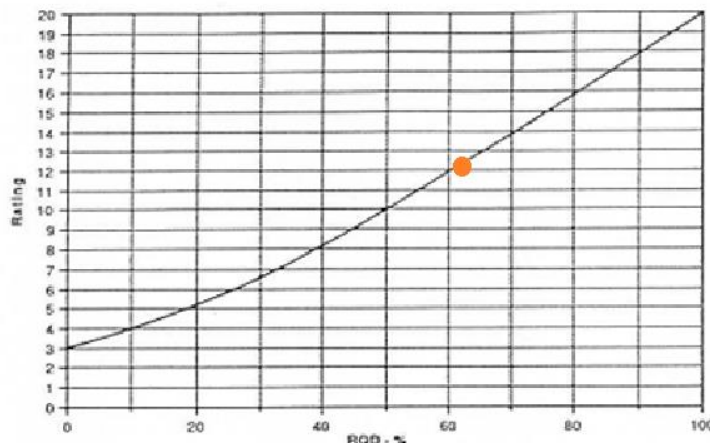


Figura 11: Ploteo de la valoración en porcentaje del RQD. Fuente: Gavilanes (2002).

Además, para la puntuación del parámetro del espaciado se utilizó la siguiente figura

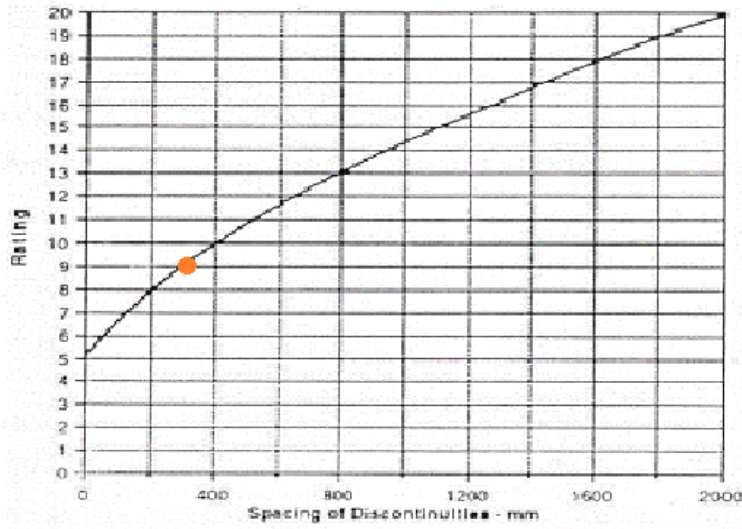


Figura 12: ploteo de valoración del espaciado entre discontinuidades en mm. Fuente: Gavilanes (2002).

Tabla 14 *Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR*

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO	
ROCOSO RMR	
RMR	DESCRIPCIÓN
91-100	MUY BUENA “A”
81-90	MUY BUENO “B”
71-80	BUENA “A”
61-70	BUENA “B”
51-60	REGULAR “A”
41-50	REGULAR “B”
31-40	MALA “A”
21-30	MALA “B”
0-20	MUY MALA “A”

Nota_: RMR básico obtenido a partir de la sumatoria de los 05 parámetros en el cual el Ploteo la roca es del Tipo Buena “B” Fuente: Gavilanes (2002)

A continuación se calculará los factores de corrección F1, F2,F3 y F4, para la obtención del SMR en una rotura del tipo planar según la clasificación de la Romana

$$F1 = [1 - \sin(\alpha_j - \alpha_s)]^2$$

$$F1 = [1 - \sin(320^\circ - 330^\circ)]^2$$

$$F1 = [1 - \sin(10^\circ)]^2$$

$$F1 = 0.68$$

$$F2 = \tan(\beta_j) \cdot 2$$

$$F2 = \tan(70) \cdot 2$$

$F2 = 1$, ya que el buzamiento de la discontinuidad J1 es mayor a 45°

$F3 = \beta_j - \beta_s = 70 - 80 = -10^\circ$ por lo que la puntuación será de

$$F3 = -50$$

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

$$SMR = 61.3 + (0.68 \times 1 \times -50) + 15$$

$$SMR = 61.3 - 34 + 15$$

$$SMR = 42.3$$

Luego describimos el grado de estabilidad en función del valor obtenido de SMR

SMR	Estabilidad
100 - 81	Totalmente Estable
80 - 61	Estable
60 - 41	Parcialmente Estable
40 - 21	Inestable
< 20	Totalmente Inestable

Figura 13: Parámetros de estabilidad según el SMR Romana, por lo que el talud se comporta inestable ante una rotura planar Fuente: Gavilanes (2002)

Según la el sistema de clasificación SMR se sugiera las siguientes recomendaciones y/o medidas de sostenimiento o soporte

MEDIDAS DE SOSTENIMIENTO RECOMENDADAS PARA CADA CLASE DE ESTABILIDAD		
Clase	SMR	Soporte
I a	91 – 100	Ninguno
I b	81 – 90	Ninguno/Saneos
II a	71 – 80	(Ninguno/Cunetas) Pernos puntuales
II b	61 – 70	Cunetas al pie del talud/malla Pernos puntuales o sistemáticos
III a	51 – 60	Cuneta y/o malla Pernos puntuales o sistemáticos Hormigón lanzado localizado
III b	41 – 60	(Cunetas al pie del talud y/o malla) Pernos sistemáticos/Anclajes Hormigón lanzado localizado Muro de pie
IV a	31 – 40	Anclaje Hormigón lanzado sistemático Muro de pie y/o concreto (Reexcavación). Drenaje
IV b	21 – 30	Hormigón lanzado reforzado sistemático Muro de pie y/o concreto (Reexcavación). Drenaje profundo
V a	nov-20	Muros de contención Reexcavación

Fuente: (Gavilanes & Andrade, 2004)

Figura 14: Recomendaciones de soporte, en la cual se puede apreciar de que se recomienda la construcción de Cunetas, muro de pie, drenaje y anclaje en el talud Fuente: Gavilanes (2002)

Se utilizará el índice de resistencia geológica (GSI) o método de clasificación **GSI** para la caracterización de las propiedades **geomecánicas** de los macizos rocosos, a través de la identificación por evaluación visual de las propiedades geológicas en el campo.



Figura:15 Ploteo del Valor de GSI, en función de las estructuras y condiciones de las discontinuidades; en el cual se aprecia que el valor de GSI es 55

Fuente: Gavilanes (2002)

ENSAYOS EN ROCA

Para la obtención de los parámetros requeridos por el método de Barton Bandis se utilizó la siguiente instrumentación

En el caso del parámetro JRC se utilizó el peine de Barton, presentando una amplitud de 6 mm, abatiéndose así un valor del parámetro JRC de 8.

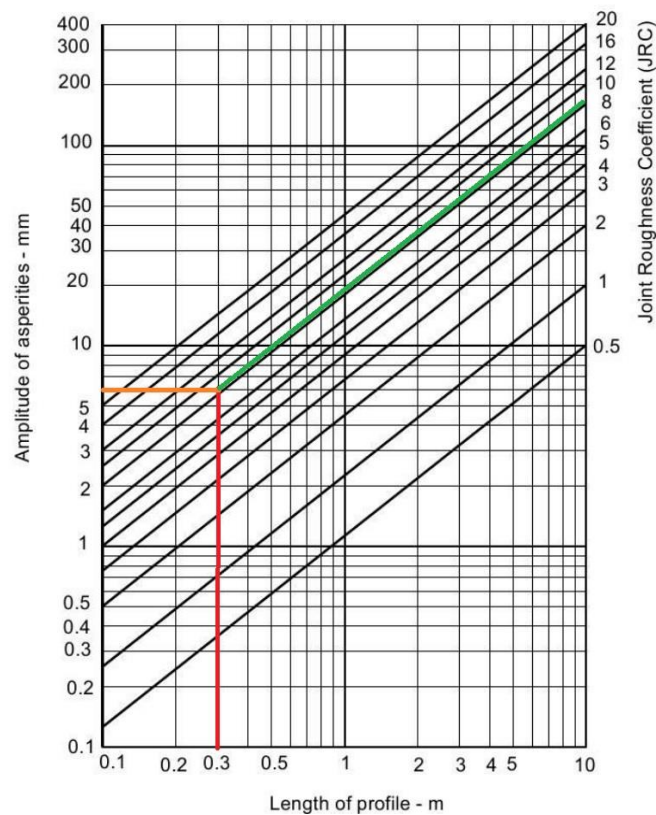


Figura 16 Estimación de JRC mediante la superficie amplitud de la rugosidad.

Para obtener el Parámetro UCS, se utilizó el martillo de schmid en el plano de la discontinuidad, la cual registro un número de rebote de 52, obteniéndose un valor de UCS de 183 MPa

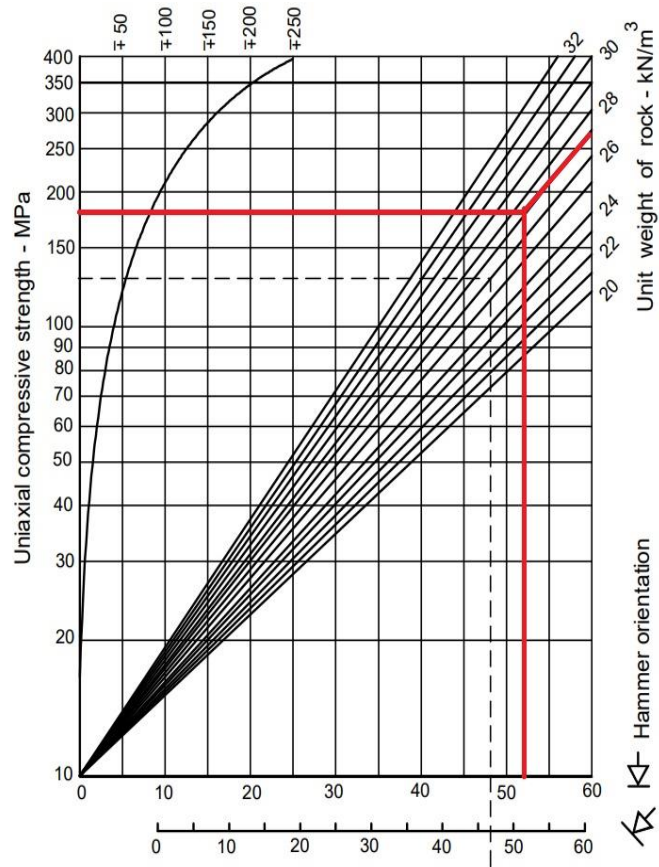


Figura 17: Estimación de la resistencia a la compresión.

Tabla 18

Ensayo de corte directo estándar en suelos A.S.T.M D 3080

Clasificación S.U.C.S.	CL	ESTADO				INALTERADO	
DATOS DE MOLDE							
Molde	Diámetro	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen	Peso (g)		96.96
circular	(cm) 5.95	1.78	35.40	(cm ³) 63.02			
DATOS DEL ENSAYO							
Esfuerzo Normal (kg/cm ²)	0.50 Kg/cm ²		1.00 Kg/cm ²		2.00 Kg/cm ²		
Velocidad ensayo (mm/min)	0.151	0.102	0.061		0.151		
Peso del anillo + muestra (g)	195.120		195.120		195.120		
Peso Muestra (g)	98.160	98.160	98.160		98.160		
Deformación Final (mm)	-0.231	-0.587	-0.792		-0.231		
Etapa	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
Tara	1	2	3	4	5	6	
Peso de la tara (g)	30.61	32.15	34.78	35.93	32.97	30.53	
Peso tara + muestra húmeda (g)	127.82	130.56	131.59	134.21	126.25	128.76	
Peso tara + muestra seca (G)	110.90	111.78	115.15	115.89	110.13	110.36	
Altura (cm)	1.78	1.76	1.78	1.72	1.78	1.70	
Diámetro (cm)	5.95	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	
Contenido de humedad (%)	21.07%	23.58%	20.46%	22.91%	20.89%	23.05%	
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.558	1.578	1.558	1.611	1.558	1.630	

Nota: En esta presente tabla se muestran los resultados de datos de molde, datos de ensayo, con sus respectivas etapas inicial y final.

Tabla 19

En la siguiente tabla se muestra la etapa de aplicación de carga.

Clasificación S.U.C.S.	CL		ESTADO				INALTERADO			
ETAPA DE APLICACIÓN DE CARGA										
Desplazamiento	0.50 Kg/cm ²			1.00 Kg/cm ²			2.00 Kg/cm ²			
horizontal (mm)	Carga		Esfuerzo	Carga		Esfuerzo	Carga		Esfuerzo	
			de corte			de corte			de corte	
	N	Kg	Kg	N	Kg	Kg	N	kg	Kg (cm ²)	
			(cm ²)			(cm ²)				
0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	
0.100	4.0	0.406	0.011	14.6	1.486	0.042	24.4	2.490	0.070	
0.200	12.1	1.233	0.035	29.6	3.023	0.085	64.9	6.618	0.187	
0.300	19.4	1.981	0.056	47.8	4.874	0.138	97.5	9.938	0.281	
0.400	27.7	2.824	0.080	65.7	6.698	0.189	128.1	13.063	0.369	
0.500	36.1	3.682	0.104	84.1	8.575	0.242	148.8	15.176	0.429	
1.000	69.9	7.130	0.201	125.6	12.810	0.362	182.3	18.593	0.525	
1.500	97.2	9.907	0.280	144.8	14.765	0.417	202.2	20.619	0.582	
2.000	116.3	11.857	0.335	156.9	16.003	0.452	211.8	21.600	0.610	
2.500	128.4	13.090	0.370	162.9	16.616	0.469	215.9	22.020	0.622	
3.000	134.3	13.698	0.387	163.8	16.707	0.472	218.3	22.257	0.629	
3.500	134.9	13.761	0.389	162.9	16.616	0.469	220.0	22.430	0.634	

4.000	133.7	13.636	0.385	161.2	16.433	0.464	219.1	22.344	0.631
4.500	131.4	13.402	0.379	159.5	16.264	0.459	217.6	22.193	0.627
5.000	129.4	13.199	0.373	157.6	16.068	0.454	216.5	22.074	0.624
5.500	127.1	12.965	0.366	156.0	15.912	0.449	214.1	21.837	0.617
6.000	125.2	12.762	0.360	154.1	15.717	0.444	212.7	21.686	0.613

Nota: *Ensayo de corte directo estándar en suelos, se muestra su desplazamiento, carga y esfuerzo de corte.*

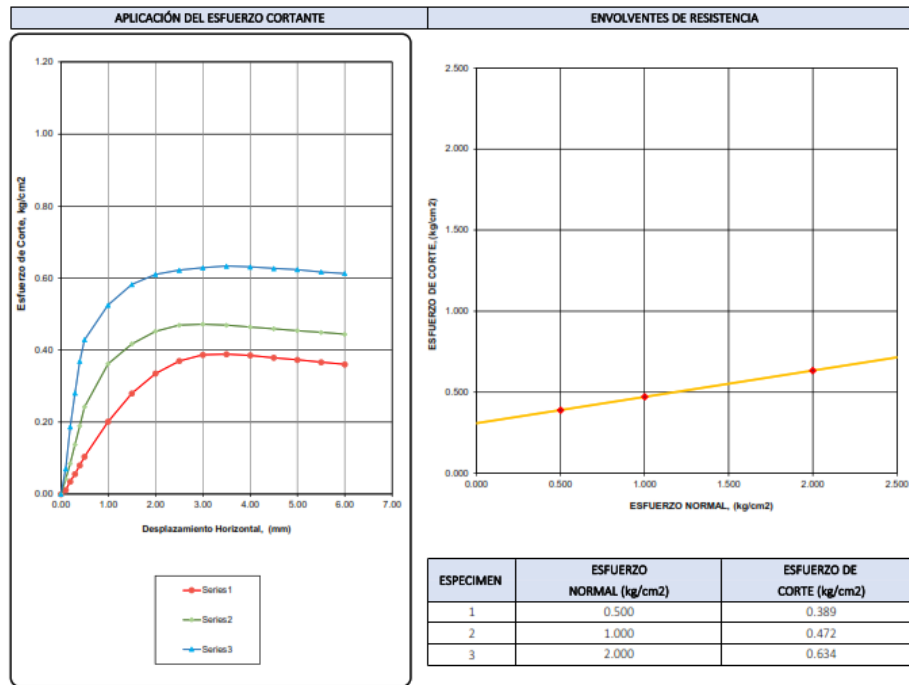


Figura 18 En esta figura se muestra el esfuerzo de corte, Kg/cm², en donde se muestra la aplicación del esfuerzo cortante y envolvente de resistencia, en desplazamiento horizontal y en esfuerzo normal. **Fuente:** *Lab. Guersan ingenieros.*

Tabla 20

Parámetros de resistencia de corte.

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE		
Cohesión =	0.308	Kg/ cm ²
Angulo de fricción interna	9.26	°

Nota: La figura muestran los parámetros de cohesión y el ángulo de fricción interna.

Tabla 21

Mapeo Geomecánico de las discontinuidades

$$TALUD \quad \frac{DIP:}{DIP \text{ DIRECTION: } 335} \quad AZIMUT \ 255^\circ$$

ESTACIÓN 1			ESTACIÓN 2			ESTACIÓN 3			
FAM	BUZ	AZIMUT	FAM	BUZ	AZIMUT	FAM	BUZ	AZIMUT	
1	69	N320	1	67	N318	1	73	N317	
1	71	N321	1	65	N323	1	70	N315	
1	74	N324	1	73	N317	1	72	N322	
1	67	N318	1	70	N315	1	69	N320	
1	65	N323	1	72	N322	1	71	N321	
1	73	N317	1	69	N320	1	74	N324	
1	70	N315	1	71	N321	1	67	N318	
1	72	N322	1	74	N324	1	65	N323	
2	30	N325	2	26	N328	2	28	N325	
2	36	N327	2	31	N324	2	37	N319	
2	25	N329	2	33	N326	2	26	N328	
2	28	N325	2	30	N325	2	31	N324	
2	37	N319	2	36	N327	2	33	N326	
2	26	N328	2	25	N329	2	30	N325	
2	31	N324	2	28	N325	2	36	N327	
2	33	N326	2	37	N319	2	25	N329	
3	39	N145	3	35	N144	3	42	N141	
3	33	N147	3	43	N148	3	36	N143	
3	41	N142	3	42	N141	3	39	N145	
3	35	N144	3	36	N143	3	33	N147	
3	43	N148	3	39	N145	39	3	41	N142
3	42	N141	3	33	N147	33	3	35	N144
3	36	N143	3	41	N142	41	3	43	N148
4	85	N40	4	76	N39	4	81	N44	
4	87	N43	4	83	N41	4	86	N38	
4	78	N37	4	81	N44	4	85	N40	
4	76	N39	4	86	N38	4	87	N43	
4	83	N41	4	85	N40	4	78	N37	
4	81	N44	4	87	N43	4	76	N39	
4	86	N38	4	78	N37	4	83	N41	

Nota: Las diaclasas fueron tomadas con una brújula Brunton Azimutal, considerando Rule Hand right

Análisis estereográfico de las discontinuidades en el talud actual

Falla Planar

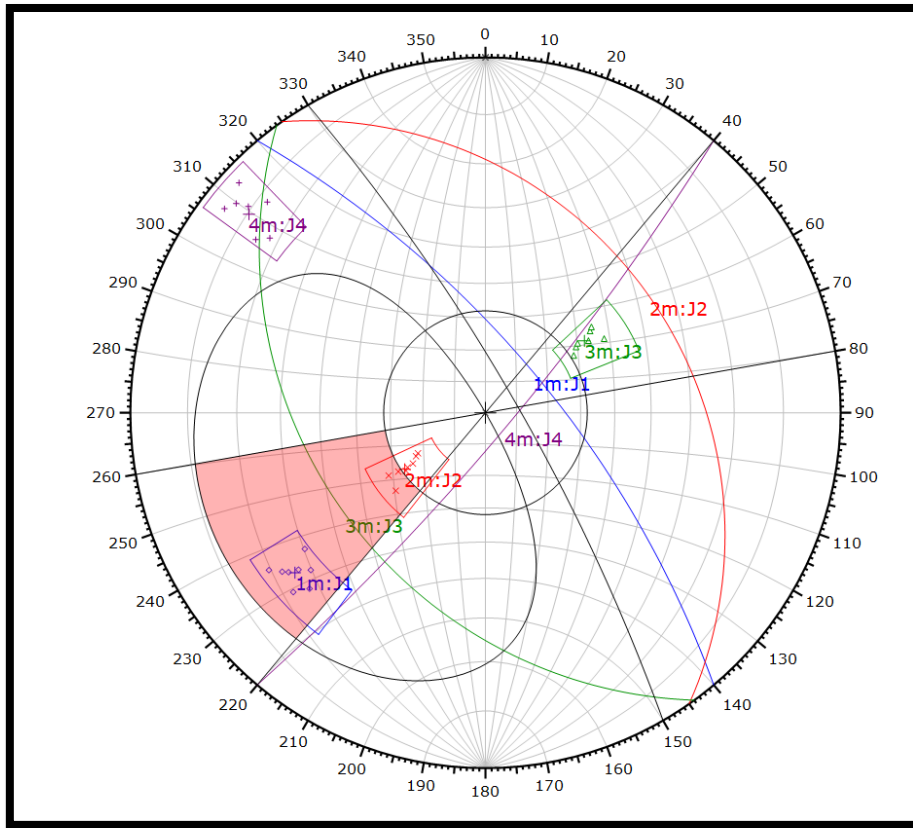


Figura N°19 Análisis cinemático de roturas utilizando como criterio para establecer el área crítica el cono de fricción, la envolvente del talud y límites laterales de $\pm 20^\circ$. Se aprecia que el sistema de discontinuidades J1 y J2 reúne las condiciones geométricas y de fricción para producir una rotura planar

Kinematic Analysis		Planar Sliding		
Slope Dip		80		
Slope Dip Direction		60		
Friction Angle		32°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Planar Sliding (All)		11	30	36.67%
Planar Sliding (Set 1)		8	8	100.00%
Planar Sliding (Set 2)		3	8	37.50%

Figura N° 20 Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. Con el 100% de los datos de la familia J1 y el 37.50% de los datos de la familia J2 para producir una rotura planar.

Falla en Cuña

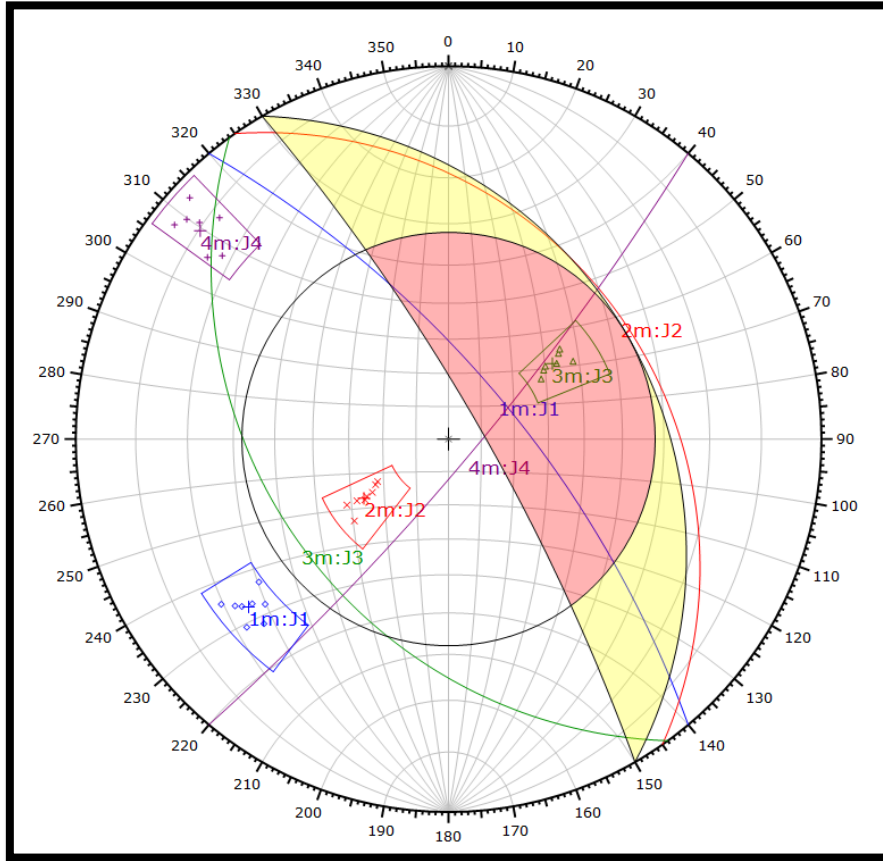


Figura N° 21 Análisis cinemático de rotura teniendo en cuenta como criterio para definir el área crítica el cono de fricción, y la envolvente del talud. Se aprecia que las intersecciones de los planos de la familia J1 y J4 reúnen las condiciones geométricas y de fricción para producir una rotura en cuña.

Kinematic Analysis		Wedge Sliding		
Slope Dip		80		
Slope Dip Direction		60		
Friction Angle		32°		
		Critical	Total	%
Wedge Sliding		105	435	24.14%
	Color	Strike (Right)	Dip	Label
Mean Set Planes				
1m	Blue	320	70	J1
2m	Red	325	31	J2
3m	Green	144	38	J3
4m	Purple	40	82	J4

Figura N°22. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedio de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 24.14% de las intersecciones para producir una rotura en cuña.

Falla en vuelco

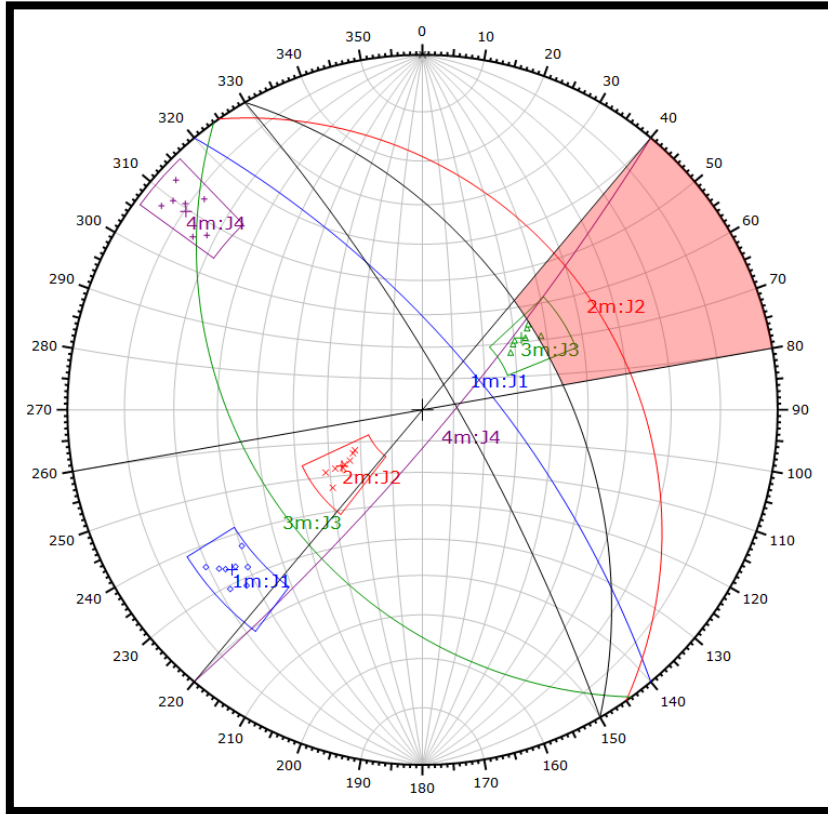


Figura N° 23 Análisis cinemático utilizando como criterio para definir el área crítica límites laterales de $\pm 20^\circ$, y un plano auxiliar relacionado al buzamiento del y al ángulo de fricción. Se puede apreciar que la familia J3 cumple las condiciones geométricas y de fricción para producir una rotura en vuelco.

Kinematic Analysis	Flexural Toppling		
Slope Dip	80		
Slope Dip Direction	60		
Friction Angle	32°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	1	30	3.33%
Flexural Toppling (Set 3)	1	7	14.29%

	Color	Strike (Right)	Dip	Label
Mean Set Planes				
1m	■	320	70	J1
2m	■	325	31	J2
3m	■	144	38	J3
4m	■	40	82	J4

Figura N° 24 Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. Con el 14.29% de los datos de todas las familia para producir una rotura por vuelco.

Cálculo del Factor de Seguridad

A continuación, obtendremos el cociente de seguridad en los taludes para los tres tipos de fallamiento que se registro en el Software Dips. Para lo que se realizará un análisis sección del talud condiciones estáticas y pseudoestáticas. Dicho análisis nos permitirá conocer si existe suficiente resistencia de los parámetros de rugosidad y relleno para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento.

El procesamiento se realizó con el software Rocplane y Swedge de Rocscience, mediante dos métodos (Mohr Columb), para esto tendremos en cuenta la orientación de las discontinuidades críticas de las distintas estaciones geomecánicas, el perfil del talud y los valores de peso Unitario cohesión y ángulos de fricción.

Sismicidad

Los sismos son fenómenos que se producen por un rompimiento repentino en la cubierta rígida del planeta llamada corteza terrestre. Como consecuencia se producen vibraciones que se propagan en todas las direcciones y que percibimos como una sacudida o un balanceo con duración e intensidad variables. (Ramírez, 2007)

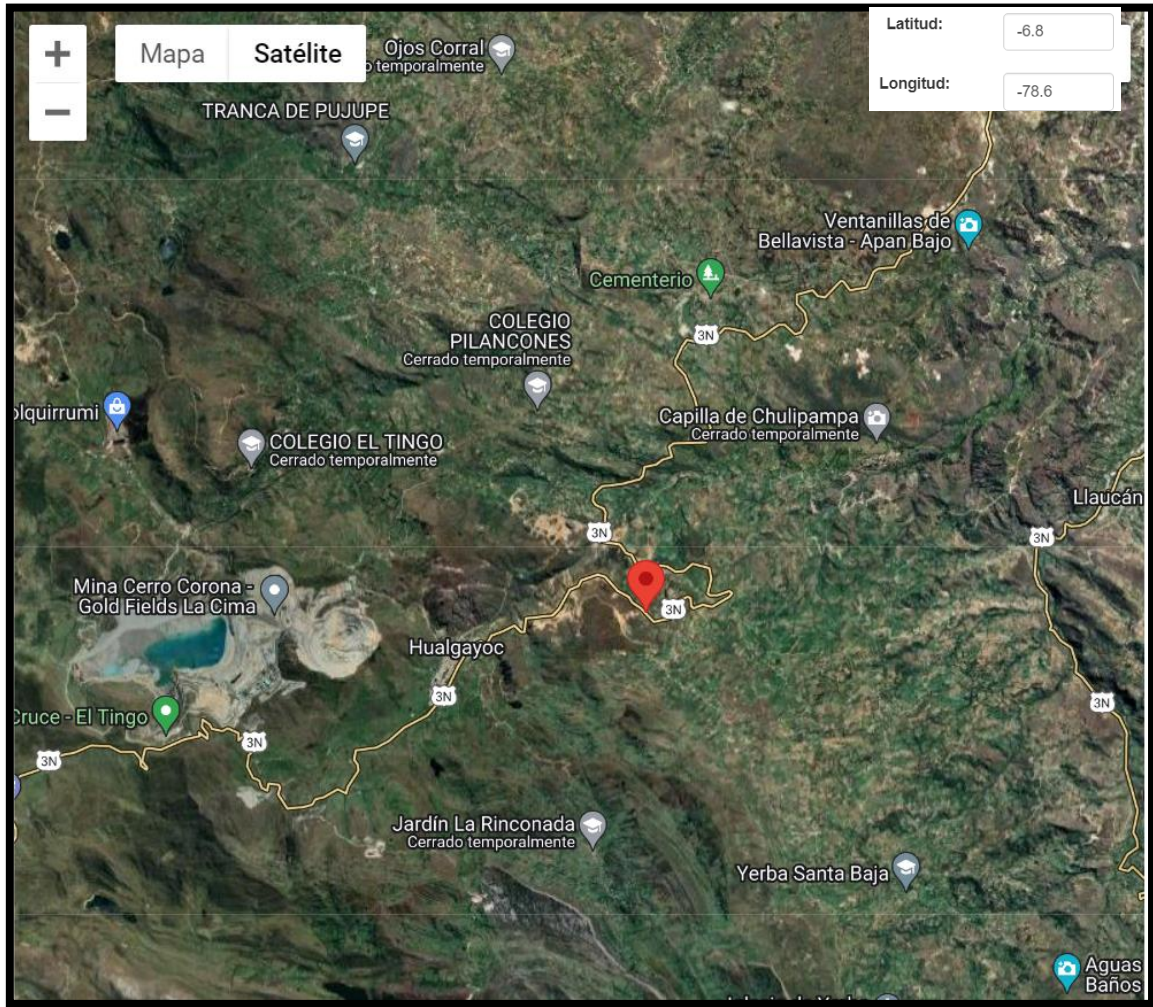


Figura N°25 Ubicación de las coordenadas para la obtención del coeficiente de sismicidad

Coeficiente de sismicidad

El coeficiente de Sismicidad fue calculado para un tiempo de operación de obra de 50 años y un periodo de retorno de 475 años, según la ubicación del talud con las siguientes coordenadas Geográficas:

Ubicación	Latitud	Longitud
Talud carretera Hualgayoc-Bambamarca	-6.8	-78.6

PE = Probabilidad de Excedencia.

PO = Periodo de Operación en años.

TO = Tiempo de Retorno en años.

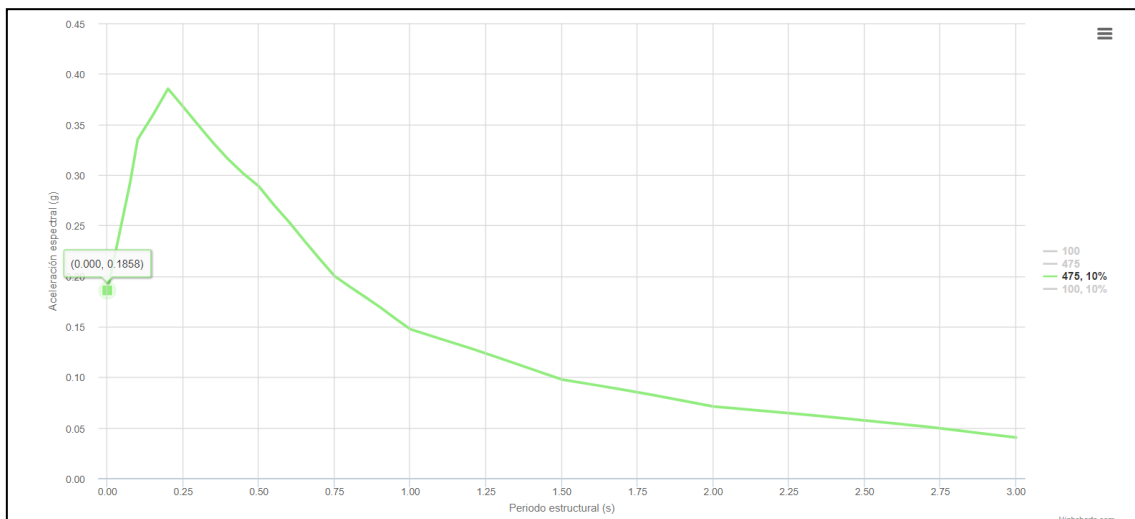


Figura N°26 Gráfico de espectro de peligro uniforme con un periodo de retorno de 475 años

Para la sección de análisis se utilizaron los datos de peso específico, cohesión y fricción

Para las areniscas presente en el talud, y un coeficiente de sismicidad de 0.1858, teniendo en consideración la estaciones geomecánicas.

Rotura Planar Familia J1 progresiva 1361+800

Para evaluar la rotura Planar producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J1 se evaluará el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas Pseudoestáticas, además de realizar un análisis de sensibilidad para las correspondientes recomendaciones

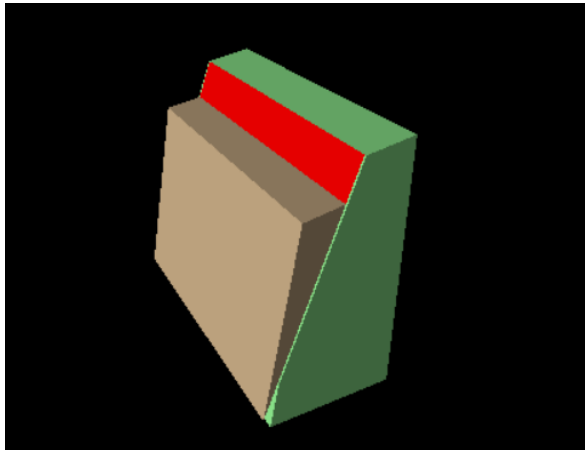


Figura N°27 Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J1.

Condiciones Estáticas y Secas

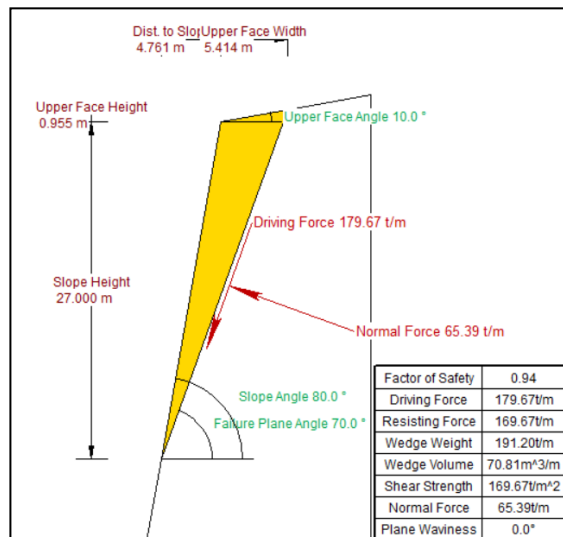


Figura N°28 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se puede apreciar que el talud no cumple las condiciones de completa estabilidad según la Norma, en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 0.94, por lo cual nos indica que el talud no es completamente estable ante una falla planar en estas condiciones.

Condiciones estáticas y saturadas

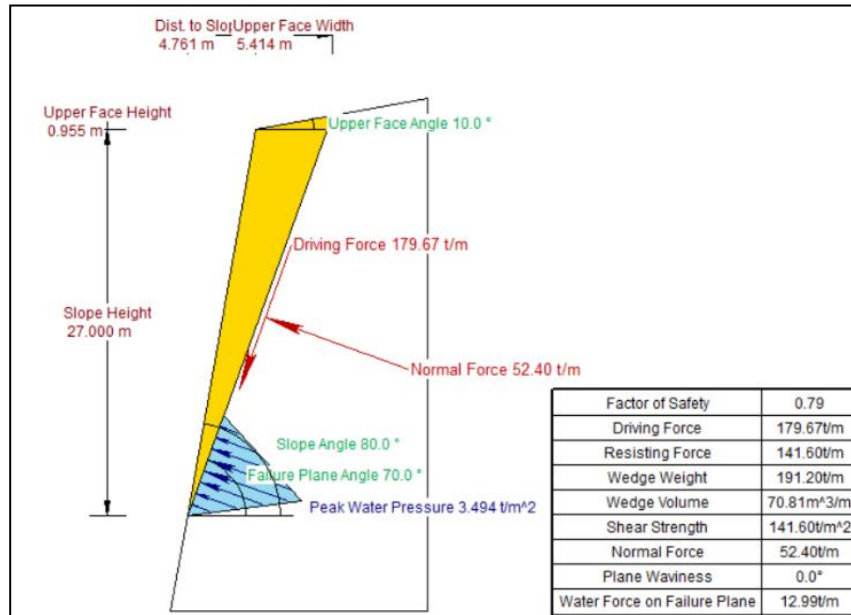


Figura N°29 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el talud no es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 0.79 por lo que se puede producir una falla planar en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y secas

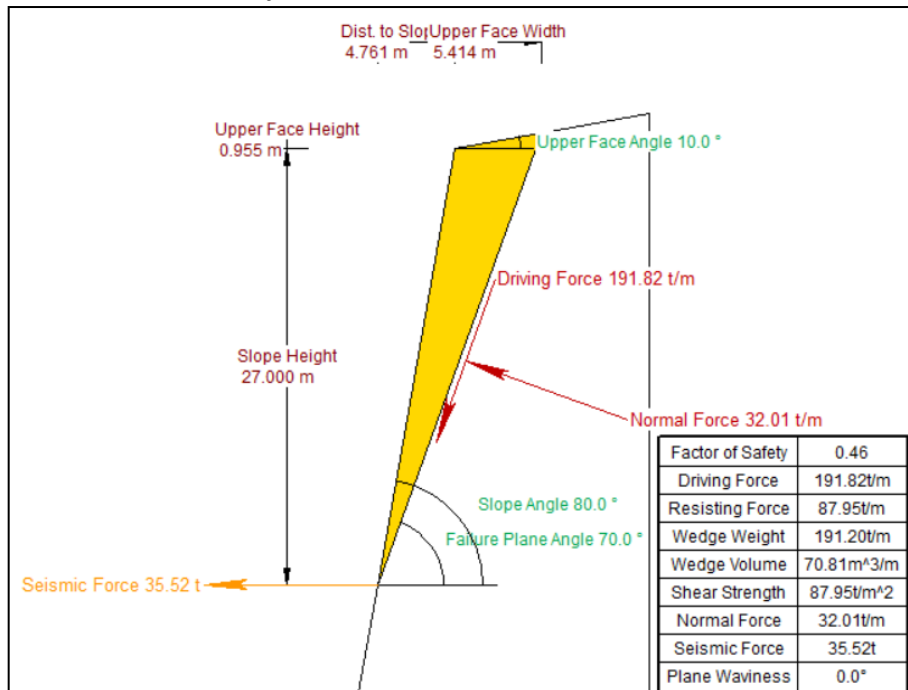


Figura N°30 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el talud no es estable en condiciones secas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858, se obtiene un Factor de seguridad de 0.46 por lo cual se podría producir una falla planar en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

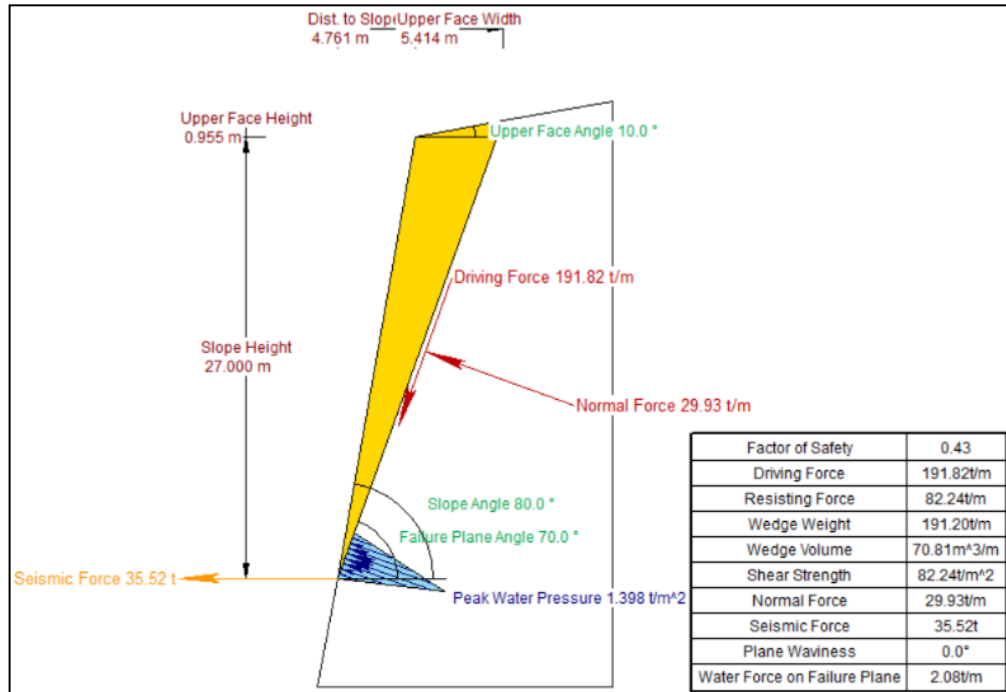


Figura N°31 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858, se obtiene un Factor de seguridad de 0.43 por lo cual se podría producir una falla planar en estas condiciones.

A continuación, se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura planar del Set J1

Tabla N°22

Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J1 (Estático y Pseudo-estático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Secas	Saturadas	Secas	Saturadas
0.94	0.79	0.46	0.43

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones.

Propuesta de estabilidad J1

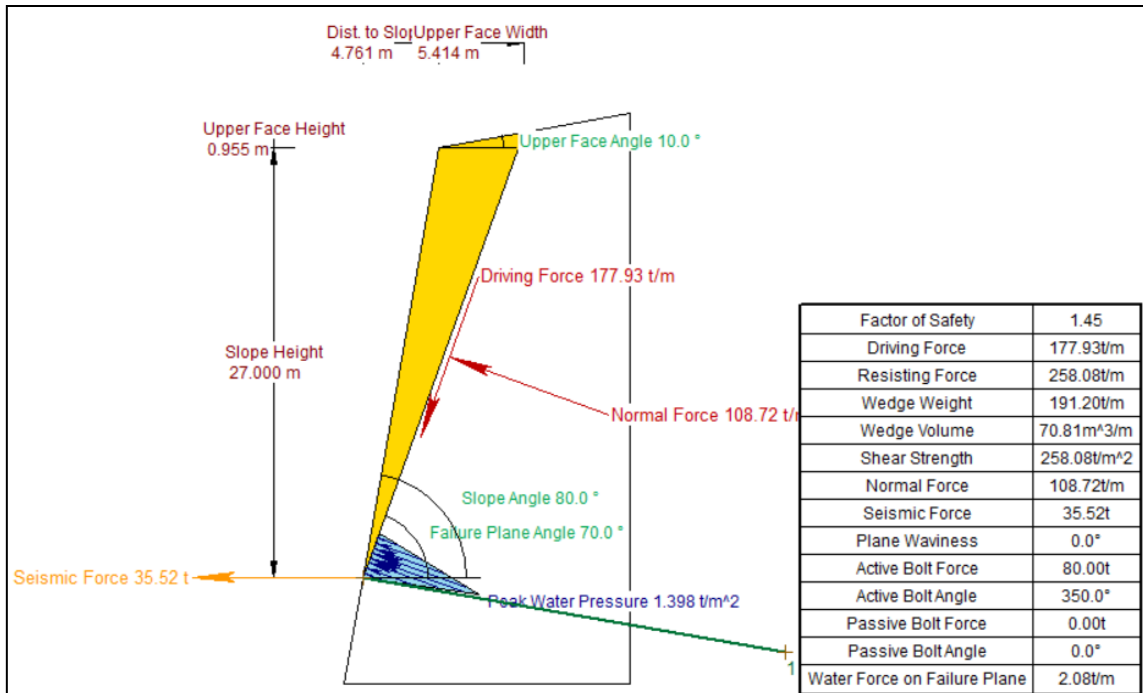


Figura N°32 propuesta de estabilidad mediante la instalación de pernos, en la que se aprecia que el talud en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858 se obtiene un Factor de seguridad de 1.45 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.

A fin de evitar la saturación de las discontinuidades del macizo rocoso y el fallamiento por rotura planar se recomienda realizar obras de drenaje a fin de mantener el grado de saturación por debajo del 30% , se recomienda la instalacion de pernos de longitud de 1.5m a fin de mantener una completa estabilidad de talud.

Rotura Planar Familia J2 progresiva 1361+800

Para evaluar la rotura Planar producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J2 se evaluará el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas Pseudoestáticas, además de realizar un análisis de sensibilidad para las correspondientes recomendaciones

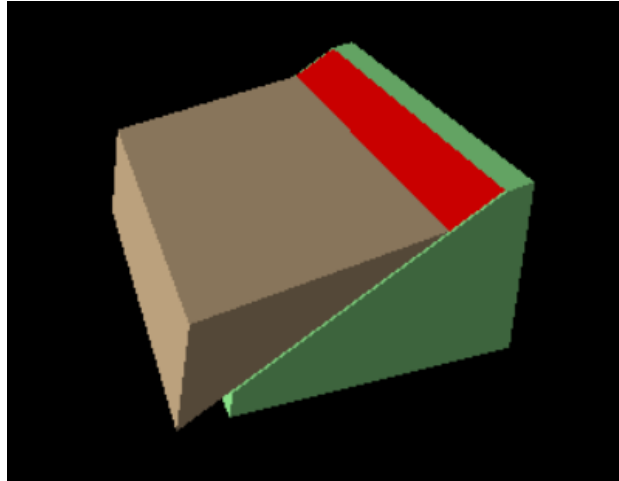


Figura N°33 Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J2.

Condiciones Estáticas y Secas

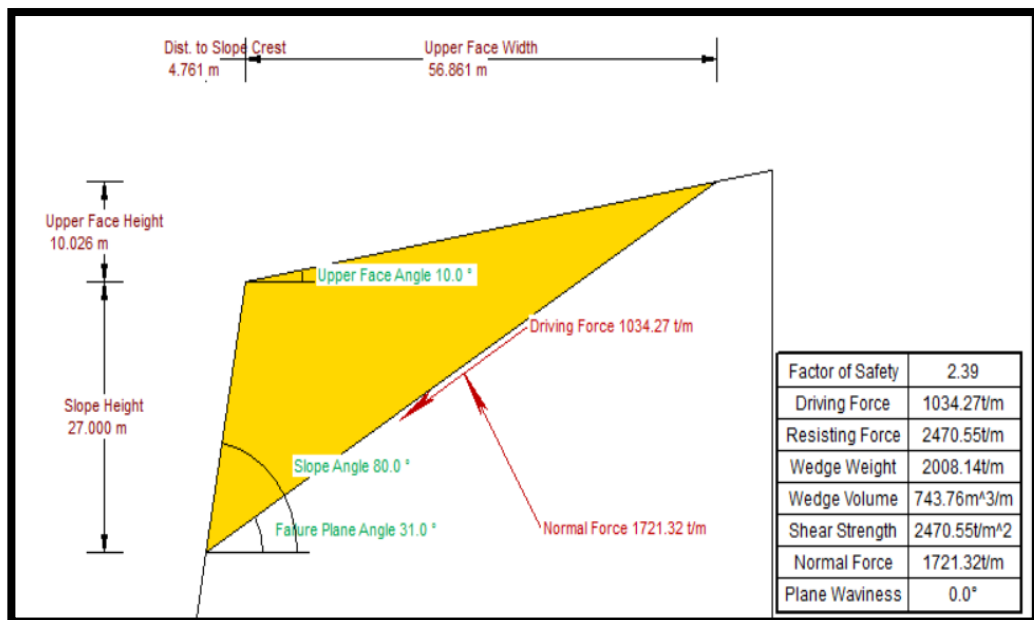


Figura N°34 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se puede apreciar que el talud no cumple las condiciones de completa estabilidad según la Norma, en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 2.39, por lo cual nos indica que el talud no es completamente estable ante una falla planar en estas condiciones.

Condiciones estáticas y saturadas

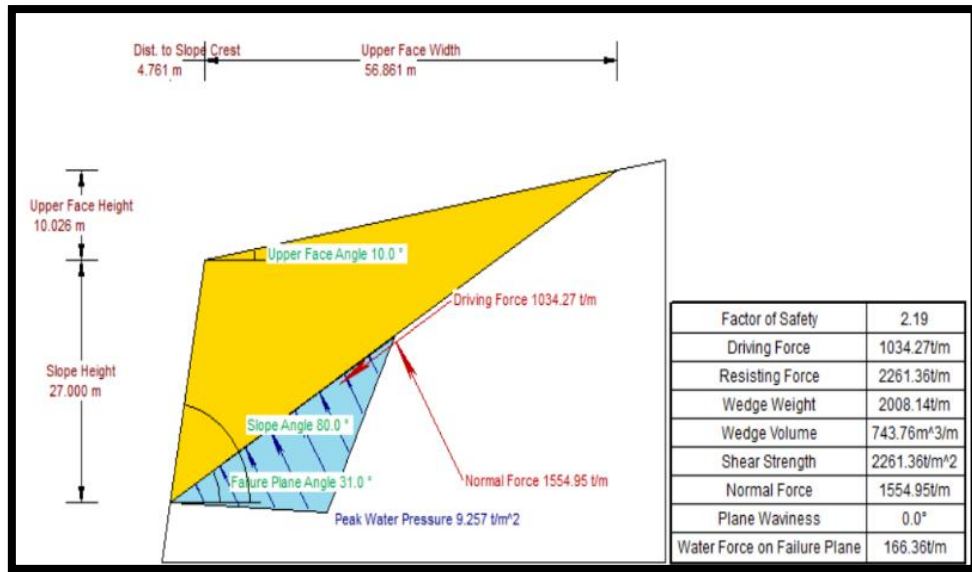


Figura N°35 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el talud no es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 2.19 por lo que se puede producir una falla planar en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y secas

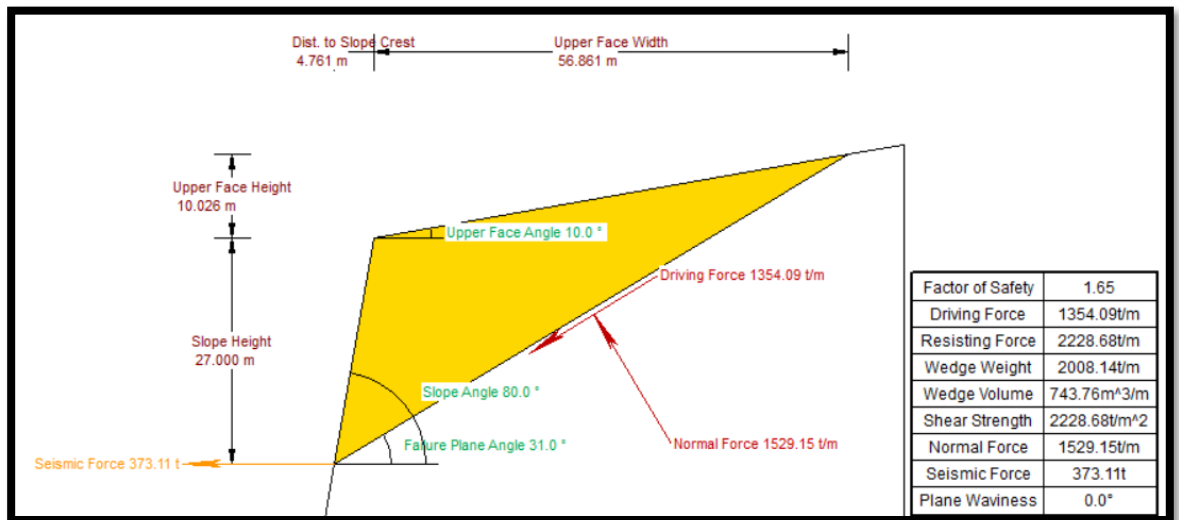


Figura N°36 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el talud no es estable en condiciones secas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858, se obtiene un Factor de seguridad de 1.65 por lo cual se podría producir una falla planar en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

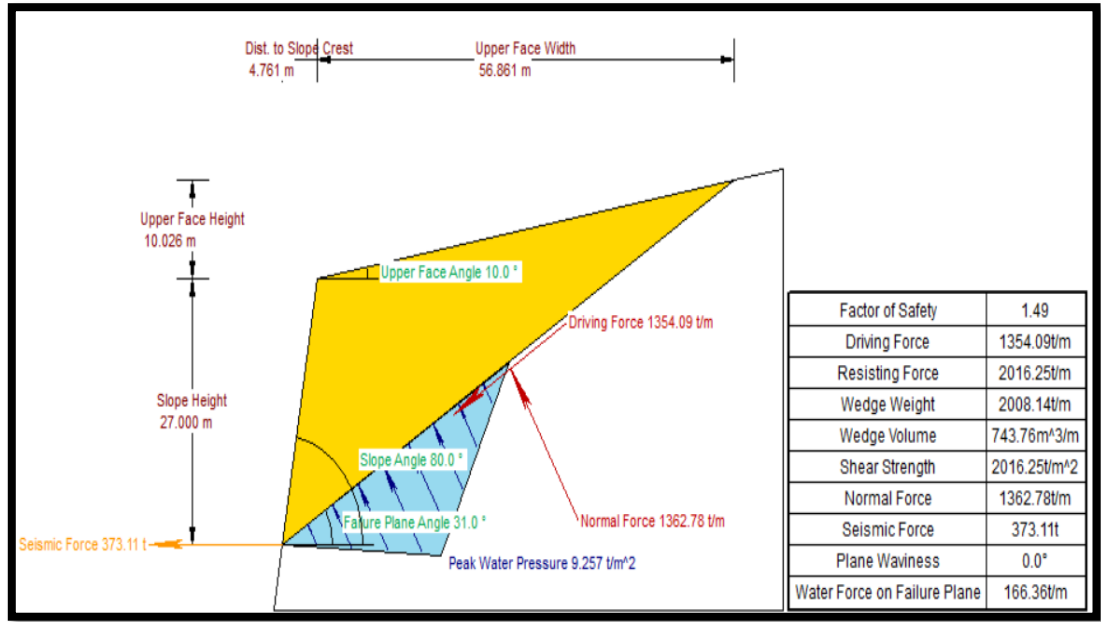


Figura N°37 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858, se obtiene un Factor de seguridad de 1.49 por lo cual se podría producir una falla planar en estas condiciones.

A continuación, se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura planar del Set J1

Tabla N°23

Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J1 (Estático y Pseudo-estático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Secas	Saturadas	Secas	Saturadas
2.39g	2.19	1.65	1.49

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones.

Rotura en Cuña progresiva 1361+800

Para la rotura en Cuña se evaluó 01 Cuña evidenciadas en el software dips, la cual la es producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J1 y J4, mientras que en el software Swedge se calculó el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas y Pseudoestáticas,

Cuña producida por J1 y J4

Condiciones Estáticas y Secas

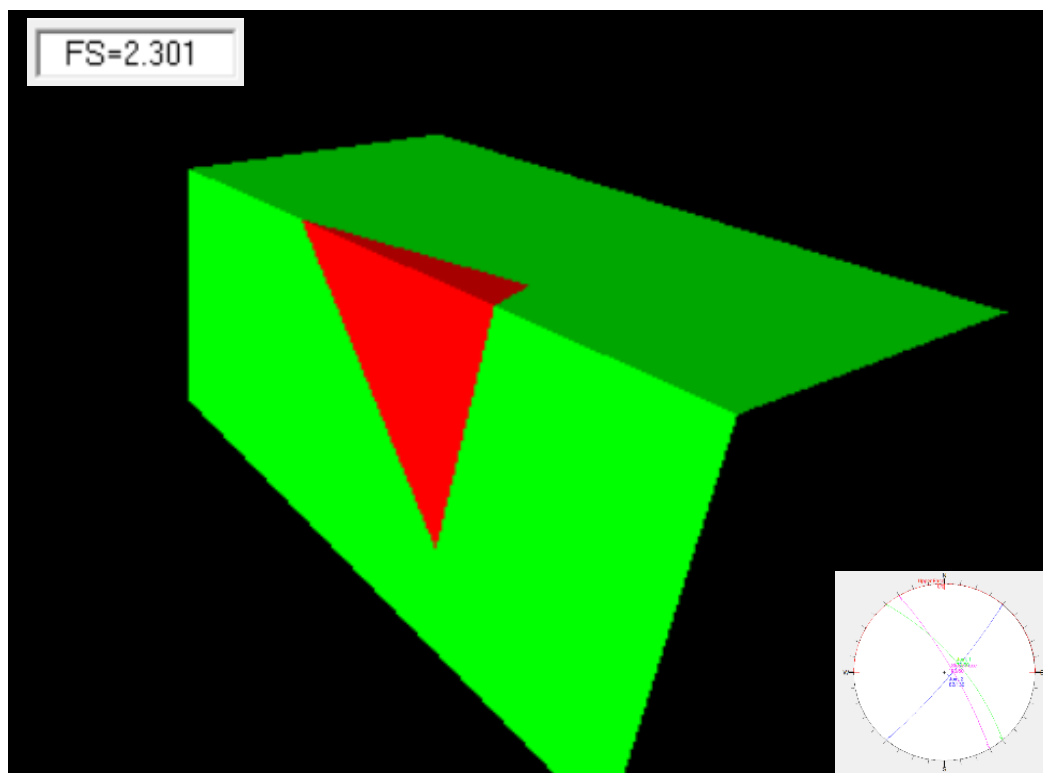


Figura N°38 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 2.301, por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones estáticas y saturadas



Figura N°39 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 2.369 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y secas

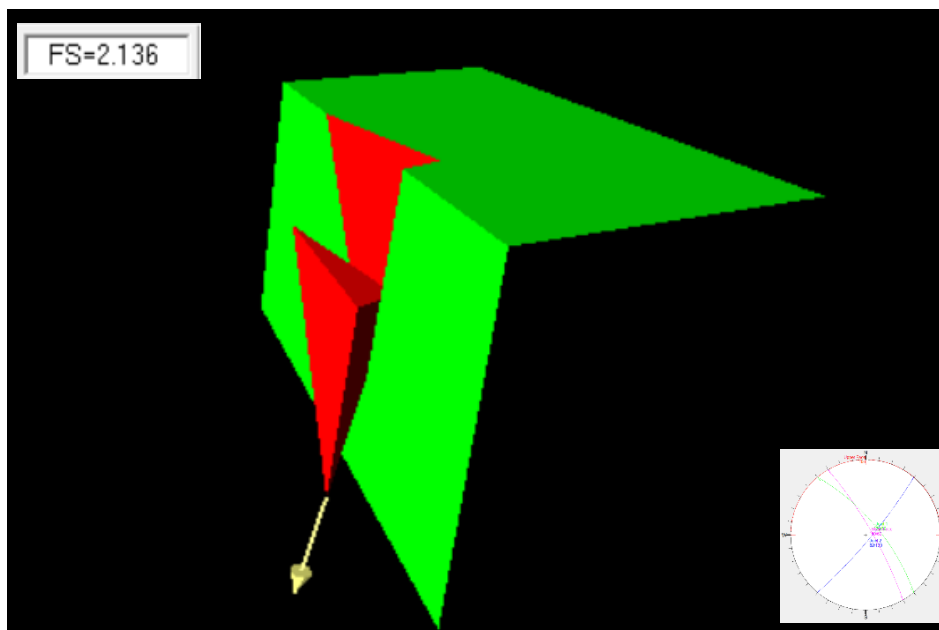


Figura N°40 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.1858 se obtiene de seguridad de 2.136 por lo cual no se produce la falla en cuña.

Condiciones Pseudoestaticas y Saturadas

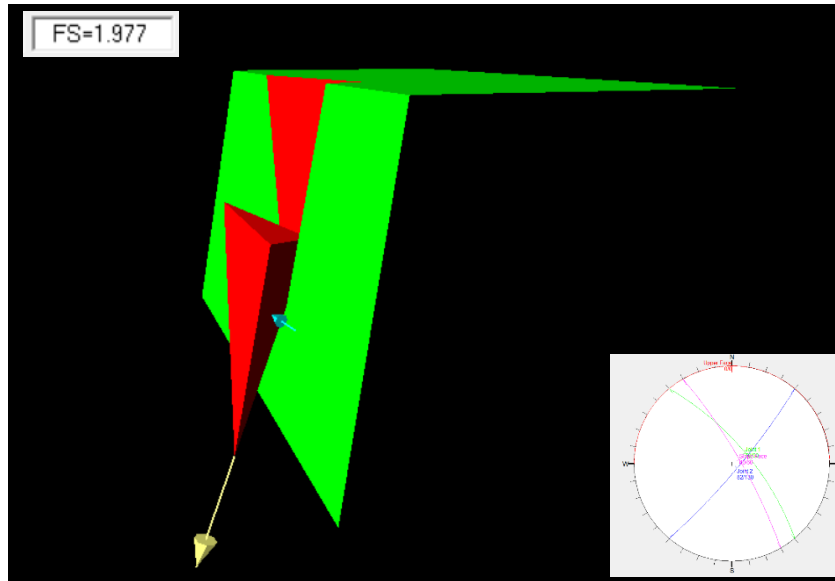


Figura N°41 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.1858 se obtiene de seguridad de 1.977 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

A continuación, se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura en cuña formada por los Sets de la familia J1 y J4.

Tabla N° 24

Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J1 Y J4 (Estático y Pseudo-estático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Secas	Saturadas	Secas	Saturadas
2.301	2.369	2.136	1.977

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones.

Debido a que no se produce la rotura de la cuña n°01 las recomendaciones para asegurar la estabilidad son las mismas que se realizaron para la rotura planar

Rotura En Vuelco progresiva 1361+800

Para evaluar la rotura En Vuelco producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J3 se evaluará el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas Pseudoestáticas, además de realizar un análisis de sensibilidad para las correspondientes recomendaciones

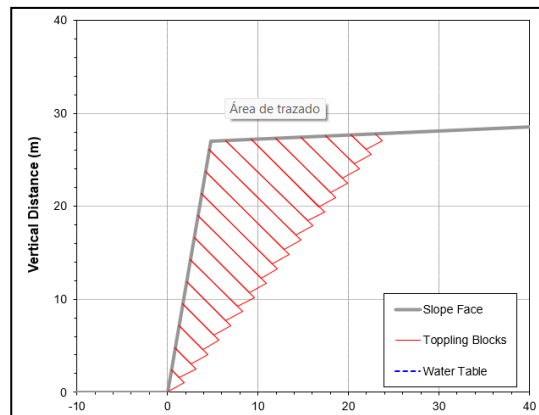
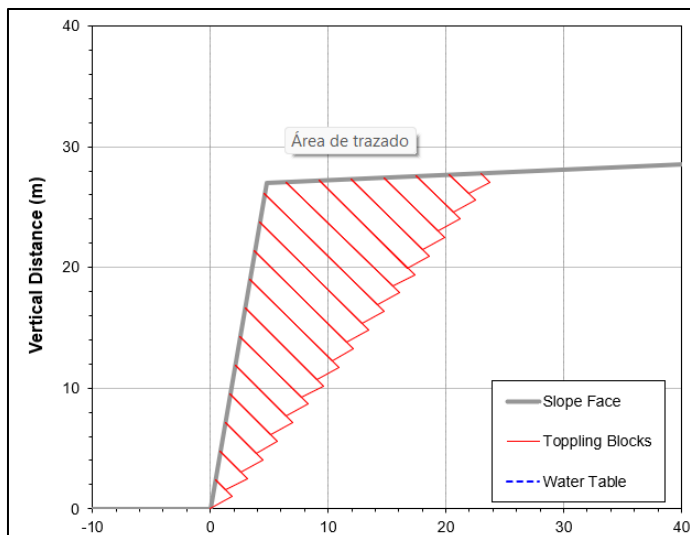


Figura N°42 Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J3.

Condiciones Estáticas y Secas



Kinematic Probability of Block Toppling Failure $(P_{f \text{ Kinematic}})$	1.000
Kinetic Probability of Block Toppling Failure $(P_{f \text{ Kinetic} \text{ Kinematic}})$	1.000
Total Probability of Block Toppling Failure $(P_{f \text{ Kinematic}}) \times (P_{f \text{ Kinetic} \text{ Kinematic}})$	1.000
Mean FS Kinematically Feasible	0.91
Median FS Kinematically Feasible	0.91

Figura N°43 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, en la que se puede apreciar que el talud no cumple las condiciones de completa estabilidad según la Norma, en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 0.91, por lo cual nos indica que el talud no es completamente estable ante una falla en Vuelco en estas condiciones.

Condiciones estáticas y saturadas

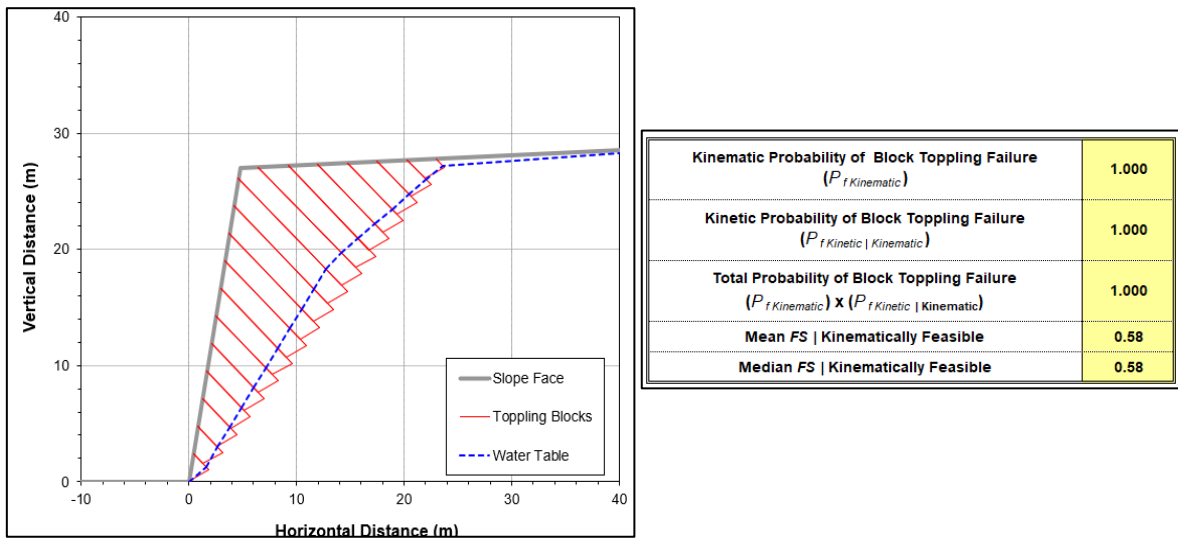


Figura N°44 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, en la que se aprecia que el talud no es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 0.58 por lo que se puede producir una falla en Vuelco en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y secas

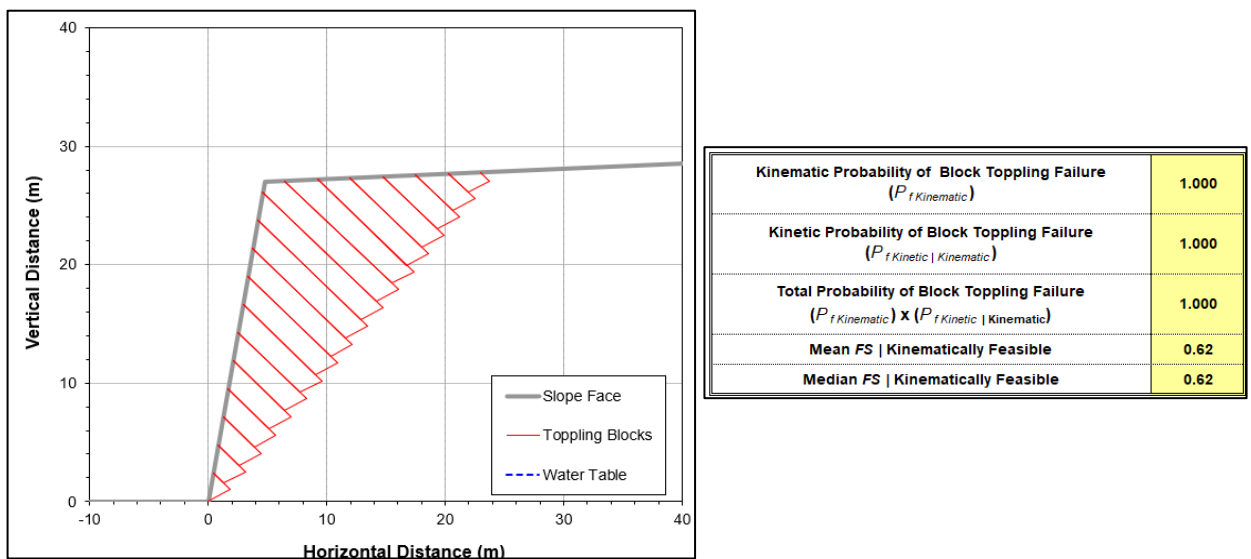


Figura N°45 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, en la que se aprecia que el talud no es estable en condiciones secas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858, se obtiene un Factor de seguridad de 0.62 por lo cual se podría producir una falla en Vuelco en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

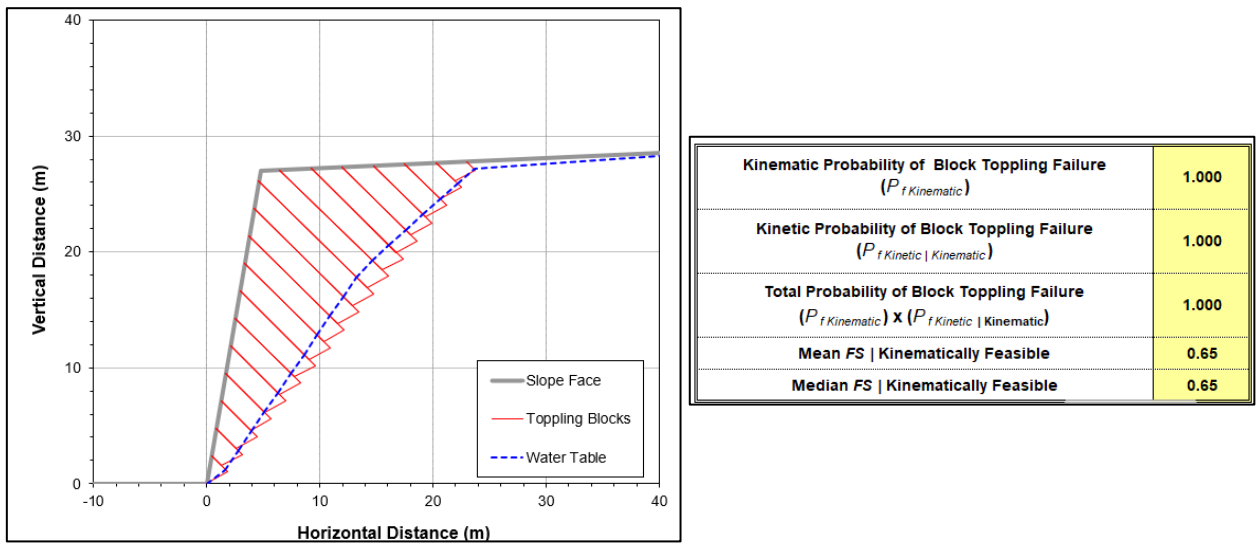


Figura N°46 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858, se obtiene un Factor de seguridad de 0.65 por lo cual se podría producir una falla en Vuelco en estas condiciones.

A continuación, se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura planar del Set J3

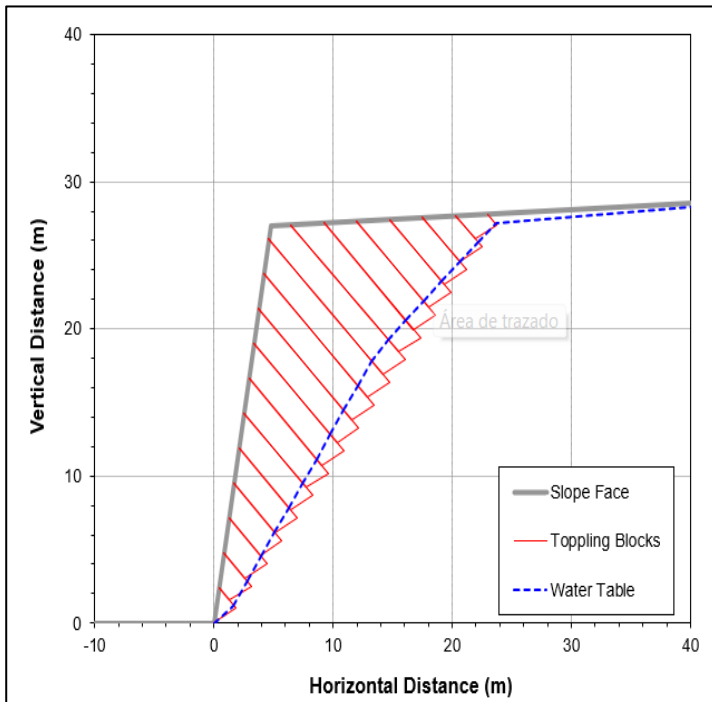
Tabla N°25

Condiciones de Análisis de la rotura En Vuelco del Set J3 (Estático y Pseudo-estático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Secas	Saturadas	Secas	Saturadas
0.91	0.58	0.62	0.65

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones.

Propuesta de estabilidad progresiva 1361+800



Kinematic Probability of Block Toppling Failure $(P_{f\text{Kinematic}})$	1.000
Kinetic Probability of Block Toppling Failure $(P_{f\text{Kinetic} \text{Kinematic}})$	1.000
Total Probability of Block Toppling Failure $(P_{f\text{Kinematic}}) \times (P_{f\text{Kinetic} \text{Kinematic}})$	1.000
Mean FS Kinematically Feasible	1.32
Median FS Kinematically Feasible	1.32

Figura N°47 propuesta de estabilidad mediante la instalación de pernos con una capacidad de 144 t/m, en la que se aprecia que el talud en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.1858 se obtiene un Factor de seguridad de 1.32 por lo cual no se produce la falla en Vuelco en estas condiciones.

A fin de evitar la saturación de las discontinuidades del macizo rocoso y el fallamiento por rotura en Vuelco se recomienda realizar obras de drenaje a fin de mantener el grado de saturación por debajo del 30%, se recomienda la instalación de pernos de longitud de 1.5m a fin de mantener una completa estabilidad de talud.

Análisis de Talud en condiciones Estáticas progresiva 1362+100

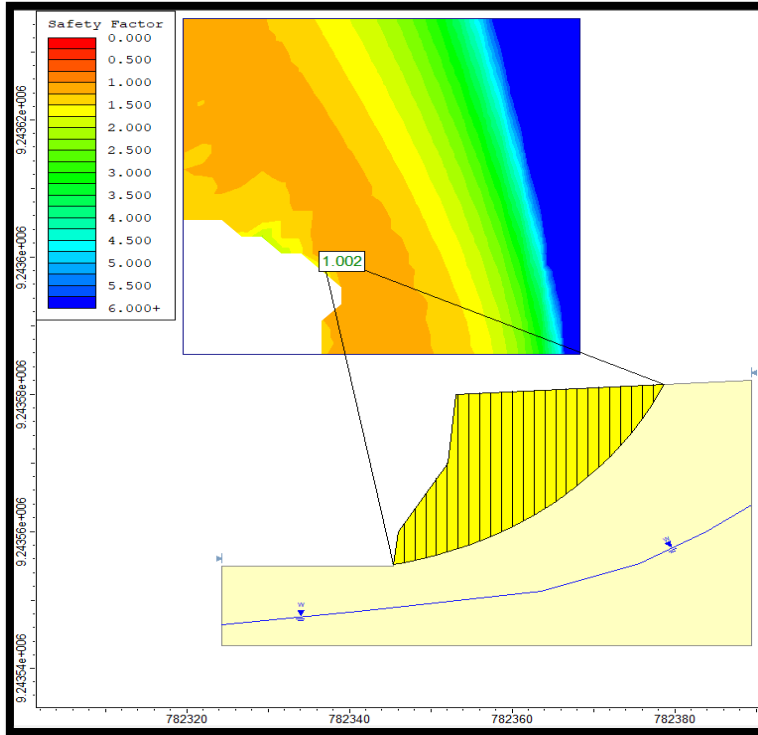


Figura N°48 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud no es completamente estable según la norma con un Factor de seguridad de 1.002 en condiciones estáticas para el talud con una pendiente de 66°.

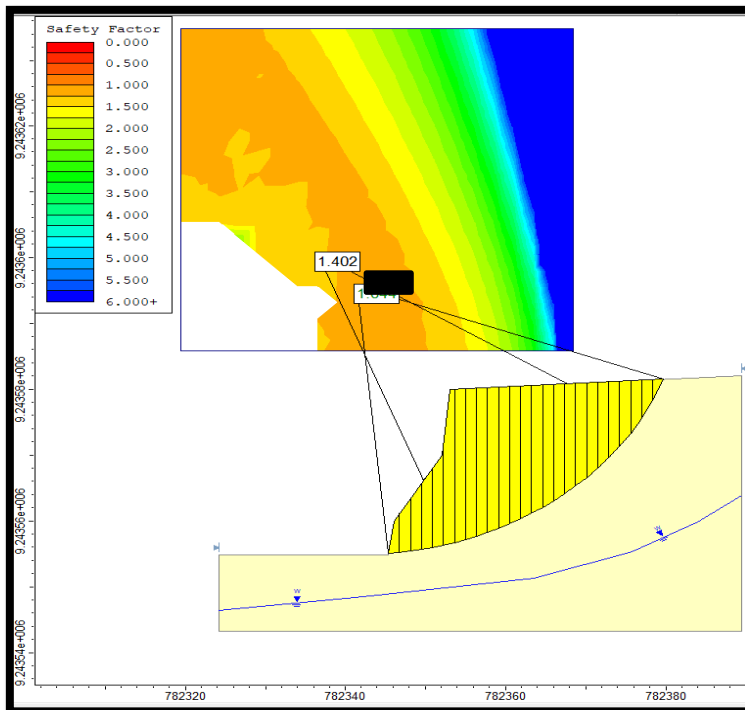


Figura N°49 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud no completamente estable con un Factor de seguridad de 1.044 en condiciones estáticas para el talud con una pendiente de 66°.

Análisis de estabilidad del Talud en condiciones Pseudo estáticas progresiva 1362+100

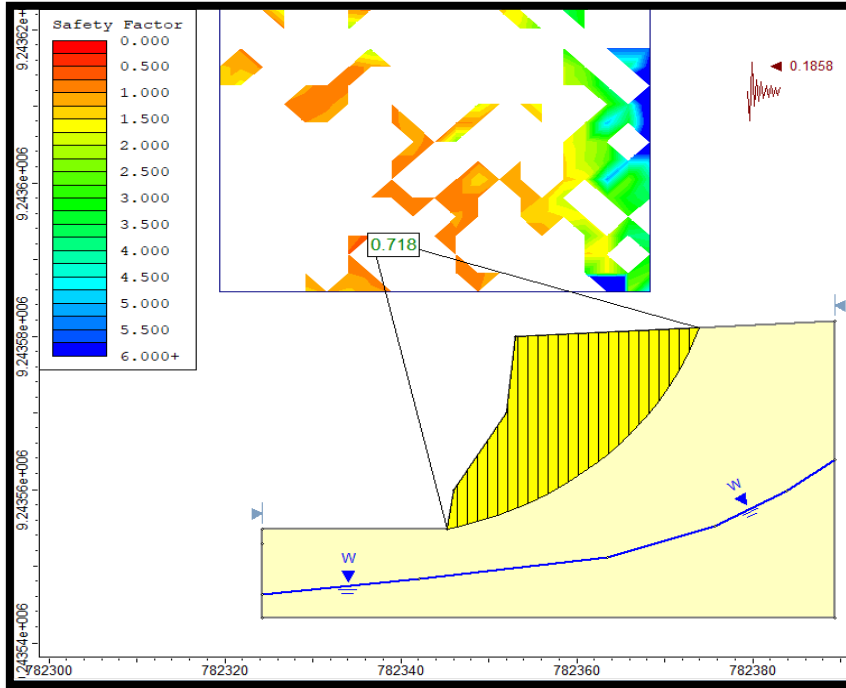


Figura N°50 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.718 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.1858 y un coeficiente vertical de 0.

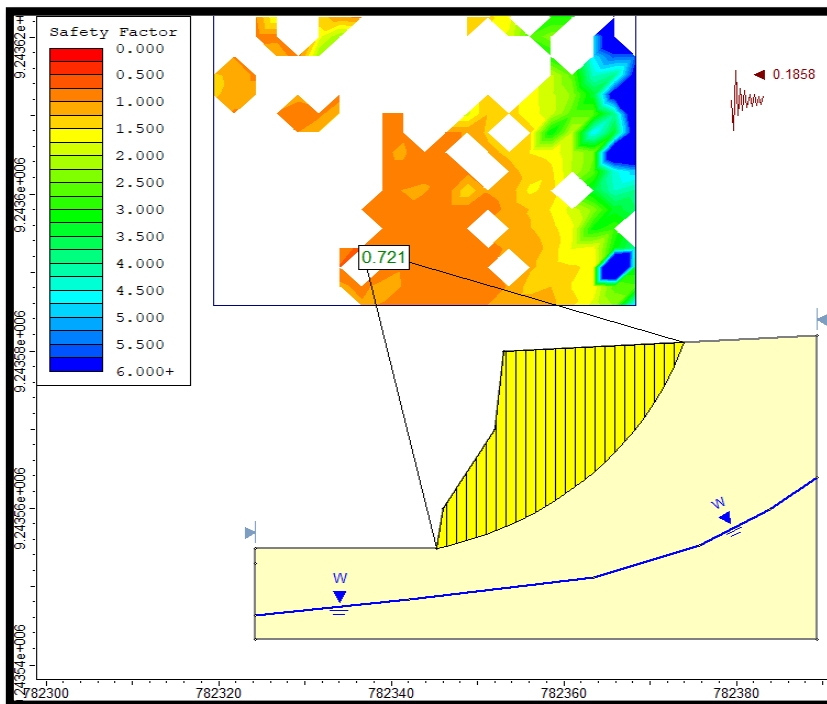


Figura N°51 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.721 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.1858 y un coeficiente vertical de 0,

A continuación, se muestra una tabla de los distintos factores de seguridad en condiciones estáticas y Pseudoestáticas para el talud global del diseño.

Tabla N°26

Condiciones de Análisis para el Talud en suelo (Estático y Pseudo-estático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Spencer	Morgenstern - Price	Spencer	Morgenstern - Price
1.002	1.044	0.718	0.721

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones.

FUENTE: Propia.

Según el análisis realizado en la tabla anterior se puede apreciar de que El talud es inestable para las distintas condiciones tanto Estáticas como Pseudo estáticas

Propuesta de estabilidad con cambio de Geometría del Talud y Muro de contención

Análisis de Talud Corregido en condiciones Estáticas progresiva 1362+100

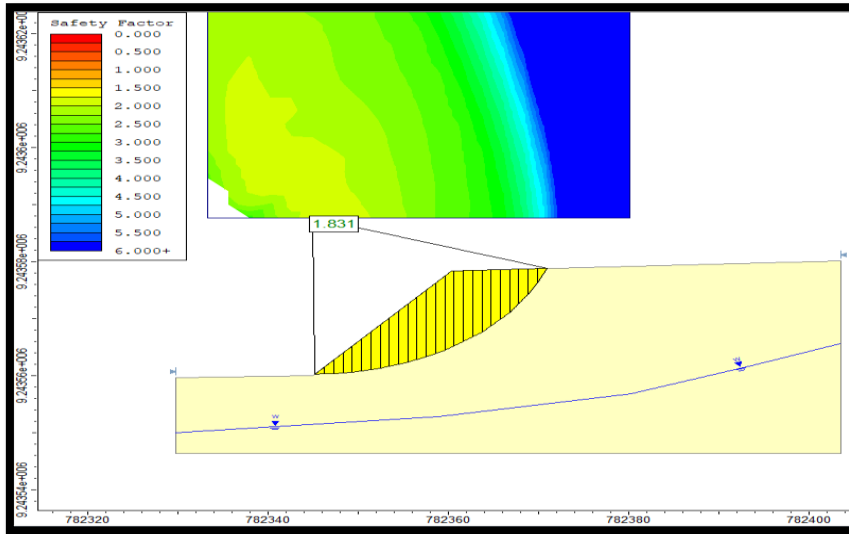


Figura N°52 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.831 en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 50°.

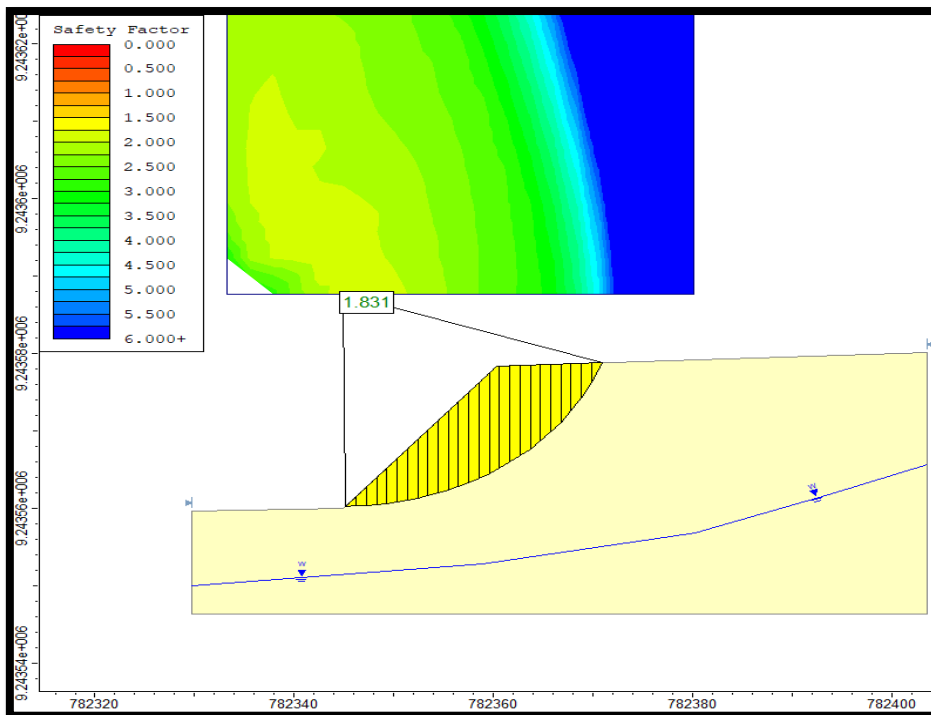


Figura N°53 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.831 en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 50°.

Análisis de estabilidad del Talud corregido en condiciones Pseudo estáticas

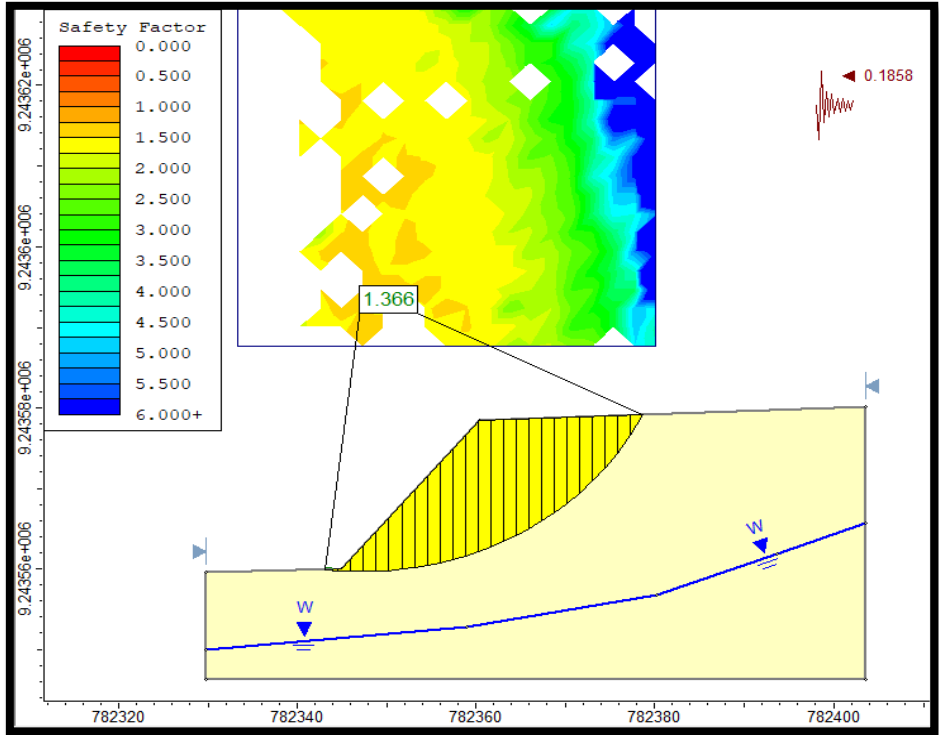


Figura N°54 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer , en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.366 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.1858 y un coeficiente vertical de 0,

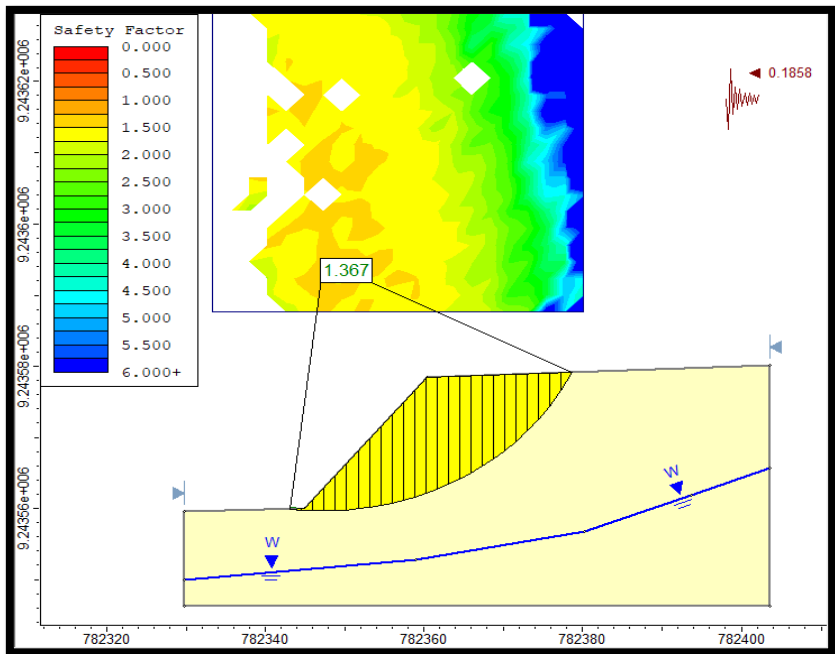


Figura N°55 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.367 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.1858 y un coeficiente vertical de 0,

A continuación, se muestra una tabla de los distintos factores de seguridad en condiciones estáticas y Pseudoestáticas para el talud del diseño.

Tabla N°27

Condiciones de Análisis para el Talud (Estático y Pseudo-estático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Spencer	Morgenstern - Price	Spencer	Morgenstern - Price
1.831	1.831	1.366	1.367

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones.

FUENTE: Propia.

Según el análisis realizado en la tabla anterior se puede apreciar de que El talud es estable para las distintas condiciones tanto Estáticas como Pseudo estáticas mediante el cambio de geometría a una pendiente de 50°, además de un muro de contención y el sembrado de vegetación a fin de garantizar una completa estabilidad.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Los parámetros geotécnicos nos brindaron información para conocer las características de resistencia del macizo rocoso y del suelo frente a un deslizamiento en los frentes del talud, en tanto la caracterización geomecánica del macizo rocoso nos brindó y orientó en cual fue el método de sostenimiento y estabilidad para los taludes, por tal motivo se acepta la hipótesis “Con los resultados de los parámetros geotécnicos y la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, se podrá diseñar la estabilidad de taludes en el tramo km 1360+800 y el km 1362+200 de la carretera Hualgayoc-Bambamarca, Cajamarca 2023”.

Dentro de los hallazgos encontrados en la caracterización geomecánica del macizo rocoso y de la evaluación de la relación entre las propiedades del macizo rocoso y la inestabilidad de cada talud en el tramo km 1360+800 y el km 1362+800, se hizo un análisis de estabilidad de la zona de estudio para lo cual se realizó un mapeo a detalle el cual facilitó conocer que zonas son inestables teniendo una orientación de las discontinuidades favorables para algunos tipos de rotura, además se tuvo un valor de cohesión de 0.308 Kg/cm^2 y un ángulo de fricción interna que se encuentra en un promedio de 9.26° según los resultados de laboratorio, los cuales no son los suficientes para evitar un deslizamiento semicircular, el perfil general del talud nos da una idea general que a simple vista es estable, pero el margen de reconocimiento en tensiones totales mediante un software, nos dió a conocer cuál debería ser su geometría adecuada para prevenir un daño futuro. Las obras ingenieriles tienen como énfasis la tarea de arreglar

estas zonas, por ello la importancia de una tesis que demuestre que dichas zonas no son lo que asumen, sino el mismo criterio de seguridad ante una estabilidad es importante para no perjudicar una carretera transitable

Contreras (2022) en su investigación tuvo como resultados la caracterización geológica, resistencia a la compresión simple, con la valoración RMR y GSI, que están en razón a las variables desarrolladas en la investigación y el factor de seguridad. Se realizó aplicando la proyección estereográfica, y el método de equilibrio límite para cada tipo de rotura; los resultados obtenidos son; teniendo una resistencia del macizo rocoso de 58 correspondiendo a la clase III, con un GSI=53 y un factor de seguridad de 0,83, mientras que para la estación el valor de RMR fue de 60 y un factor de seguridad de 0.88y un GSI=51el cual coincide con la presente investigación en la cual se tuvo un valor de RMR de 61.3, un de 55 y un factor de seguridad inestable

Montoya (2020) tuvo como resultados Como resultado se ovo que la evaluación geomecánica influye en la estabilidad de los taludes de la cantera Aylambo. Se calculó los parámetros geomecánicos del GSI con un valor de 32 y RMR con un puntaje de 46, siendo este de calidad Regular. además Factor de Seguridad en condiciones estáticas de 1,010 y un, Se halló el SMR obtenido como puntuación 43,25 siendo este de clase III b (parcialmente estable). Se propuso medidas de sostenimiento como cunetas al pie de talud, el cual difiere de la presenta investigación respecto a los valores de RMR donde se obtuvo un puntaje d 61.3 y un GSI más elevado de 55 además de un factor de seguridad por debajo de 1

Arrascue (2021) en su estudio tuvo como resultados que el talud en estudio tiene una valoración que está en los intervalos de 47.5 con respecto al SMR y que requiere medidas de corrección como hormigón proyectado, contrafuerte y/o vigas, muros cribas, redes y/o mallas, la cual coincide con la presente investigación en la cual en función de los factores de corrección F1, F2 y F3 y F4 para taludes naturales se obtuvo un valor de SMR de 42.3 categorizándose como no completamente estable, además para la mediada de sostenimiento también se considero la instalación de un muro de concreto en la base del talud a fin de bloquear las caídas de roca y estabilizar el talud

Alvarado y Villanueva (2019) obtuvo como resultado que mediante la caracterización geomecánica del macizo rocoso afectado se tiene una resistencia del macizo rocos RMR de 46 , un SMR de 38.5 Y un GSI de 40 y un factor de seguridad de 0.850, el cual difiere de la presenta de investigación en donde la calidad de la Roca es buena y el SMR es parcialmente estable debido a los valores más elevados de los mismos, en cuanto al factor de seguridad coincide ya que el valor de este trabajo tiene valores por debajo de 1 considerándose como inestable frente a un posible deslizamiento del tipo semicircular

Marín (2019) en su investigación tuvo como resultados que la evaluación geotécnica de los macizos rocosos que conforman los taludes evidencio zonas críticas de la carretera, del cual se obtuvo los Factores de Seguridad, entre 0.328 – 0.625 en valores determinísticos y en valores medios de 1.009 – 1.521 y en condiciones de sismicidad variando de 0.115 – 0.384; siendo resultado del análisis de inestabilidad sometida a condiciones de Tensiones Totales y condiciones de

sismicidad, la cual difiere de la presente investigación en donde el factor de seguridad obtenido se encuentra por debajo de la unidad para las condiciones Pseudoestáticas

Puma (2022) en su trabajo tuvo como resultado las condiciones y caracterización del macizo rocoso en los taludes permitió obtener valores $RQD1 = 66$, $RQD2 = 70$, $RQD3 = 66$; $RMR1 = 56$, $RMR2 = 55$, $RMR3 = 52$; $GSI1 = 51$, $GSI2 = 54$, $GSI3 = 53$; y el factor de seguridad en condiciones estáticas se tiene: $FS1 = 1.4$, $FS2 = 1.3$, $FS3 = 1.4$, para condiciones pseudoestáticas: $FS1 = 1.0$, $FS2 = 1.1$, $FS3 = 1.2$, las cuales coinciden en los valores de RQD en la que se tuvo un RQD de 63 y valor d RMR similar en tanto difiere de los valores de factores de seguridad en las condiciones estáticas y Pseudoestáticas las cuales fueron inestables

Las limitaciones que se tuvieron en el presente trabajo fue el número de ensayos a realizar debido al presupuesto y la accesibilidad a las partes altas del talud para las tomas de datos, además de la incomodidad de los pobladores debido a que en la zona existen conflictos sociales por la actividad Minera.

Se recomienda a las Autoridades locales la implementación e instalación de las medidas correctivas y/o estabilidad brindadas en el presente estudio a fin de evitar accidentes y bloqueo de las principales vías en la carretera Hualgayoc – Cajamarca

CONCLUSIONES

Primera

Se realizó la evaluación geomecánica mediante el mapeo geomecánico de discontinuidades, empleando los métodos de Barton Bandis y Mohr Coulomb, obteniendo valores de los parámetros de un JRC de 6 y un valor de JRC de 183 Mpa, además de un ángulo de fricción básico de 32° , teniendo valores de cohesión en el material de suelo de 0.308 Kg/cm^2 , en tanto la toma de datos de la topografía de los taludes permitió obtener los perfiles y realizar de forma correcta dicha evaluación en las progresivas 1361 + 800 y la progresiva del KM1362+ 100.

Segunda

Se determinó la calidad del macizo rocoso teniendo en cuenta el sistema de clasificación de la romana (SMR) y el RMR básico de Bieniawski con un valor de índice de calidad de la roca (RQD) de 63.5, una resistencia a la compresión uniaxial de 182.5 y un espaciado promedio de 23cm, además se consideró las condiciones de las discontinuidades tales como la rugosidad, abertura, relleno, meteorización, persistencia y en estado seco, categorizándose como roca Buena en la clasificación de Bieniawski y parcialmente estable de clase IIIb en la clasificación de la Romana

Tercera

Se evaluó los tipos de rotura en el software dips teniendo una orientación promedio de azimut N169 y buzamiento de 69° para la familia J1, N325 y buzamiento de 30 para la familia J2, N145 y buzamiento de 39 para la familia J3, N40 y buzamiento de 85 para la familia J4, evidenciándose dos posibles roturas planares mediante los planos

del sistema de discontinuidades J1 y J2. Mientras que para rotura en cuña se registro una posible rotura en cuña mediante las intersecciones de los planos de diaclasas J1 y J4. Por otro lado el análisis para rotura en vuelco evidencio un posible fracturamiento por volcamiento mediante el sistema de discontinuidades J3.

Cuarta

Se cálculos los factores de seguridad en el talud de roca en condiciones pseudo estáticas y saturadas para los distintos tipos de rotura, teniendo los valores para rotura planar de 0.43 (inestable) para J1 y de 1.49 (estable) para J2, la posible rotura en cuña tuvo un factor de seguridad de 1977 siendo estable, mientras que la potencial rotura en vuelco tuvo un factor de seguridad de 0.65 siendo inestable. Además para el talud en suelo se cálculo el factor de seguridad con el criterio de Mohr coulomb, teniendo un factor de seguridad en condiciones pseudo estáticas de 0.718 por el método de Spencer y 0.721 según el método de Morgenstern Price.

Quinta

Se realizo la propuesta de estabilidad para el talud en roca mediante la construcción de obras de drenaje en le corona del talud y la instalación de pernos de 1.5 metros de longitud, aumentando el factor de seguridad a 1.45 para la rotura planar en la familia J1 y a 1.32 para la rotura en vuelco; en tanto para el talud en suelo se recomienda el cambio de geometría, sembrado de vegetación y un muro de contención, elevándose el factor de seguridad a 1.367 en condiciones pseudo estáticas.

Referencias

- Arteaga. (2017). Señaló que “las evaluaciones y análisis de estabilidad se destinan al diseño de taludes cuando éstos presentan inconvenientes de inestabilidad. 18.
- Breña, C. (2019). *Estabilidad de taludes de la carretera longitudinal de la sierra; tramo Cochabamba-Cutervo-Chiple*. Cajamarca-Perù: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Carrasco, A. G., & Urbina, V. R. (2019). *Cálculo del factor de seguridad aplicando tensiones totales en los taludes de la carretera baños del inca - llacanora*. Cajamarca - Perú.
- Carrillo, M., Lepolm, L., Rodríguez, A., & Zúñiga, H. (2012). *Clasificación geomecánica y análisis estabilidad de taludes del macizo rocoso Coris*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Escobar, T. L., & Valencia, G. Y. (2012). Análisis de estabilidad y probabilidad de falla de dos taludes de suelo tropical en la autopista medellín - bogotá en el tramo de vía entre marinilla y santuario.
- Guillén, M. C. (2004). *Estabilidad de Taludes en los departamentos de Guatemala y Alta Verapaz, Casos Reales*. Guatemala: Universidad De San Carlos.
- Marquez, L., & Villanueva, H. (2019). *Evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes de la cantera agocucho, cajamarca 2018*. Cajamarca - Perú.
- Poveda, & Guillermo. (2006). *Estabilización del talud en el PR 55 + 950 de la vía Manizales – Mariquita*. Bogotá: Universidad de la Salle.

- Revelo, B. V. (2008). *Modelo para la estabilización de taludes en las carreteras del subtrópico del nor occidente del ecuador a fin de evitar accidentes de tránsito y disminuir los costos de operación vehicular*. Ecuador: universidad técnica de ambato.
- Romero, M. (2011). *Propuesta Metodológica para la Evaluación de Estabilización de Taludes y Terraplenes en Proyectos de Carreteras*. Guatemala: Universidad de San Carlos.
- Tamayo, & Tamayo. (2006). *Investigación e Innovación Metodológica*. Mexico.
- Pastor Contreras, W. (2022). *Evaluación geomecánica para el diseño de reforzamiento en el talud del cerro Tambillo - Sina*.
- Montoya Yupanqui, M. G. (2020). *Influencia de la evaluación geomecánica en la estabilidad de taludes de la cantera Aylambo, 2019*.
- Arrascue Silva, R. C. (2021). *Evaluación de estabilidad de taludes mediante la aplicación geomecánica SMR, tramos Km 45 + 940 – Km 46 + 40 - Carretera Chongoyape*.
- Alvarado Marquez, M. I., & Villanueva Huatay, L. (2019). *Evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes de la cantera Agocucho, .Cajamarca*.
- Marín Rojas, S. T. (2019). *Determinación geomecánica de taludes en zonas críticas en la carretera San Juan - Huacraruco entre los kilómetros 3+000 - 6+200*.

Anexos

Anexo 01

Toma de datos de orientación de las familias de discontinuidades



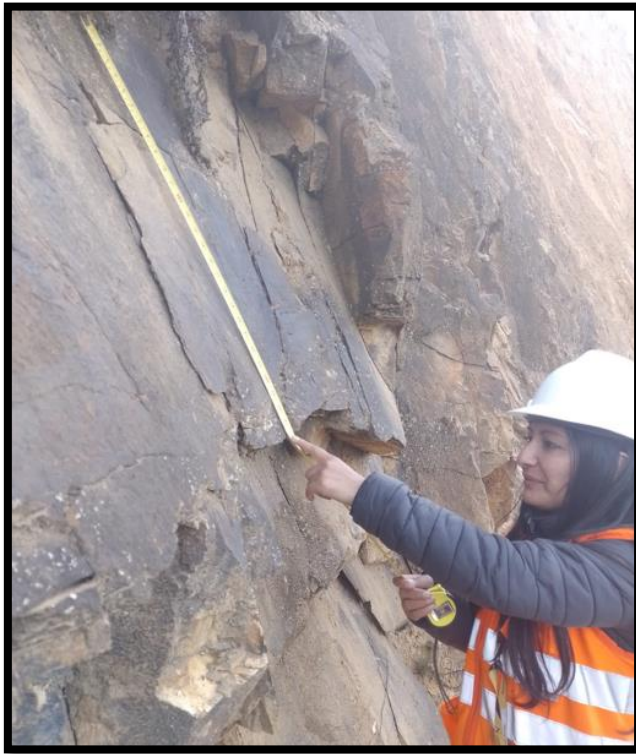
Anexo 02

Toma de datos de coordenadas de las estaciones geomecánicas



Anexo 03

Medición del espaciado de diaclasas



Anexo 04

Toma de muestras de roca



Anexo 05

Excavación de la calicata para muestra de Suelo



Anexo 06

Grietas de tensión en talud de suelo



Anexo 06

Talud progresiva 1632+100



Anexo 06

Talud progresiva 1631+800



Anexo 07

Preparación de muestra para ensayo



Anexo 08

Resultados de Ensayo de corte directo

		GUERSAN INGENIEROS S.R.L.	
		GI-EMS-013-07-23	FECHA: 11/07/2023
		ENSAYO DE CORTE DIRECTO ESTÁNDAR EN SUELOS	ASTM D 3080
TESIS:	"EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA PROGRESIVA KM 1360 +800 A KM 1362 +200 DE LA CARRETERA HUALGAYOC – BAMBAMARCA – CAJAMARCA, 2023"		
UBICACIÓN:	DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA DE HUALGAYOC, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA		
TESISTAS:	GÁLVEZ LÓPEZ, LUZ MARINA / ACUÑA BUENO, JULISSA ISAMAR.		
ASESOR:	DANIEL ALEJANDRO ALVA HUAMAN		
CALICATA:	C-1		
MUESTRA:	M1		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA		DATOS DEL MOLDE			
CLASIFICACIÓN S.U.C.S. :		MOLDE	RECTANGULAR	ÁREA (cm ²)	35.40
ESTADO :	REMOLDEADO	LADO (cm)	5.95	VOLUMEN (cm ³)	63.02
		ALTURA (cm)	1.78	PESO (g)	96.96

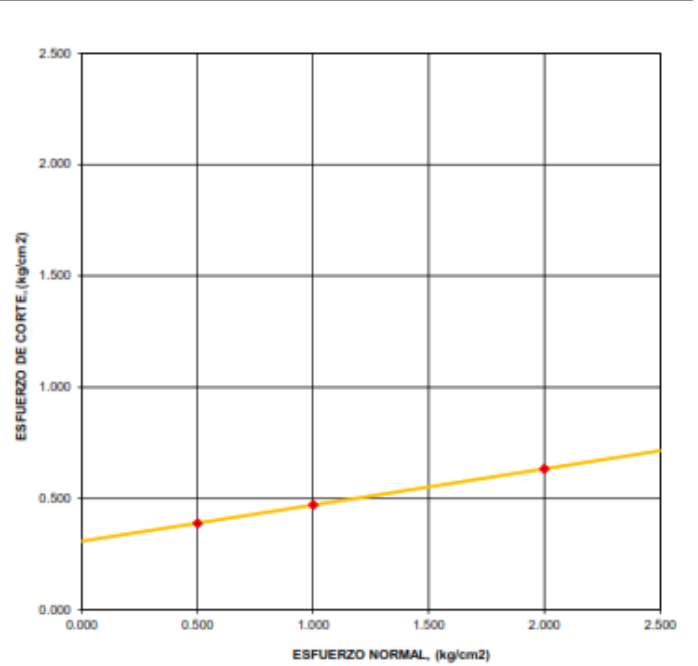
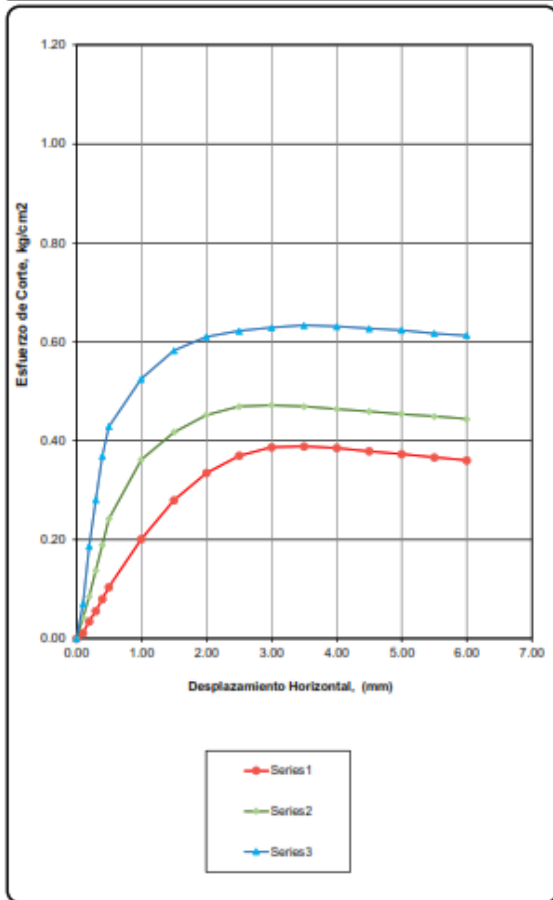
DATOS DEL ENSAYO						
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)		0.50 Kg/cm ²	1.00 Kg/cm ²	2.00 Kg/cm ²		
VELOCIDAD ENSAYO (mm/min)		0.151	0.102	0.061		
PESO DEL ANILLO MÁS MUESTRA (g)		195.120	195.120	195.120		
PESO MUESTRA (g)		98.160	98.160	98.160		
DEFORMACIÓN FINAL (mm)		-0.231	-0.587	-0.792		
ETAPA		INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL
TARA		1	2	3	4	5
PESO DE LA TARA (g)		30.61	32.15	34.78	35.93	32.97
PESO TARA + MUESTA HUMEDA (g)		127.82	130.56	131.59	134.21	126.25
PESO TARA + MUESTRA SECA (g)		110.90	111.78	115.15	115.89	110.13
ALTURA (cm)		1.78	1.76	1.78	1.72	1.78
LADO (cm)		5.95	5.96	5.96	5.96	5.96
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		21.07%	23.58%	20.46%	22.91%	20.89%
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm ³)		1.558	1.578	1.558	1.611	1.558

ETAPA DE APLICACIÓN DE CARGA									
DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL (mm)	0.50 Kg/cm ²			1.00 Kg/cm ²			2.00 Kg/cm ²		
	CARGA		ESFUERZO DE CORTE	CARGA		ESFUERZO DE CORTE	CARGA		ESFUERZO DE CORTE
	N	kg	Kg (cm ²)	N	kg	Kg (cm ²)	N	kg	Kg (cm ²)
0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
0.100	4.0	0.406	0.011	14.6	1.486	0.042	24.4	2.490	0.070
0.200	12.1	1.233	0.035	29.6	3.023	0.085	64.9	6.618	0.187
0.300	19.4	1.981	0.056	47.8	4.874	0.138	97.5	9.938	0.281
0.400	27.7	2.824	0.080	65.7	6.698	0.189	128.1	13.063	0.369
0.500	36.1	3.682	0.104	84.1	8.575	0.242	148.8	15.176	0.429
1.000	69.9	7.130	0.201	125.6	12.810	0.362	182.3	18.593	0.525
1.500	97.2	9.907	0.280	144.8	14.765	0.417	202.2	20.619	0.582
2.000	116.3	11.857	0.335	156.9	16.003	0.452	211.8	21.600	0.610
2.500	128.4	13.090	0.370	162.9	16.616	0.469	215.9	22.020	0.622
3.000	134.3	13.698	0.387	163.8	16.707	0.472	218.3	22.257	0.629
3.500	134.9	13.761	0.389	162.9	16.616	0.469	220.0	22.430	0.634
4.000	133.7	13.636	0.385	161.2	16.433	0.464	219.1	22.344	0.631
4.500	131.4	13.402	0.379	159.5	16.264	0.459	217.6	22.193	0.627
5.000	129.4	13.199	0.373	157.6	16.068	0.454	216.5	22.074	0.624
5.500	127.1	12.965	0.366	156.0	15.912	0.449	214.1	21.837	0.617
6.000	125.2	12.762	0.360	154.1	15.717	0.444	212.7	21.686	0.613

	GI-EMS-013-07-23	FECHA: 11/07/2023
	ENSAYO DE CORTE DIRECTO ESTÁNDAR EN SUELOS	ASTM D 3080
TESIS:	"EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA PROGRESIVA KM 1360 +800 A KM 1362 +200 DE LA CARRETERA HUALGAYOC – BAMBAMARCA – CAJAMARCA, 2023"	
UBICACIÓN:	DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA DE HUALGAYOC, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA	
TESISTAS:	GÁLVEZ LÓPEZ, LUZ MARINA / ACUÑA BUENO, JULISSA ISAMAR.	
ASESOR:	DANIEL ALEJANDRO ALVA HUAMAN	
CALICATA:	C-1	
MUESTRA:	M1	

CLASIFICACIÓN S.U.C.S. :	ESTADO :	REMOLDEADO
--------------------------	----------	------------

APLICACIÓN DEL ESFUERZO CORTANTE	ENVOLVENTES DE RESISTENCIA
----------------------------------	----------------------------

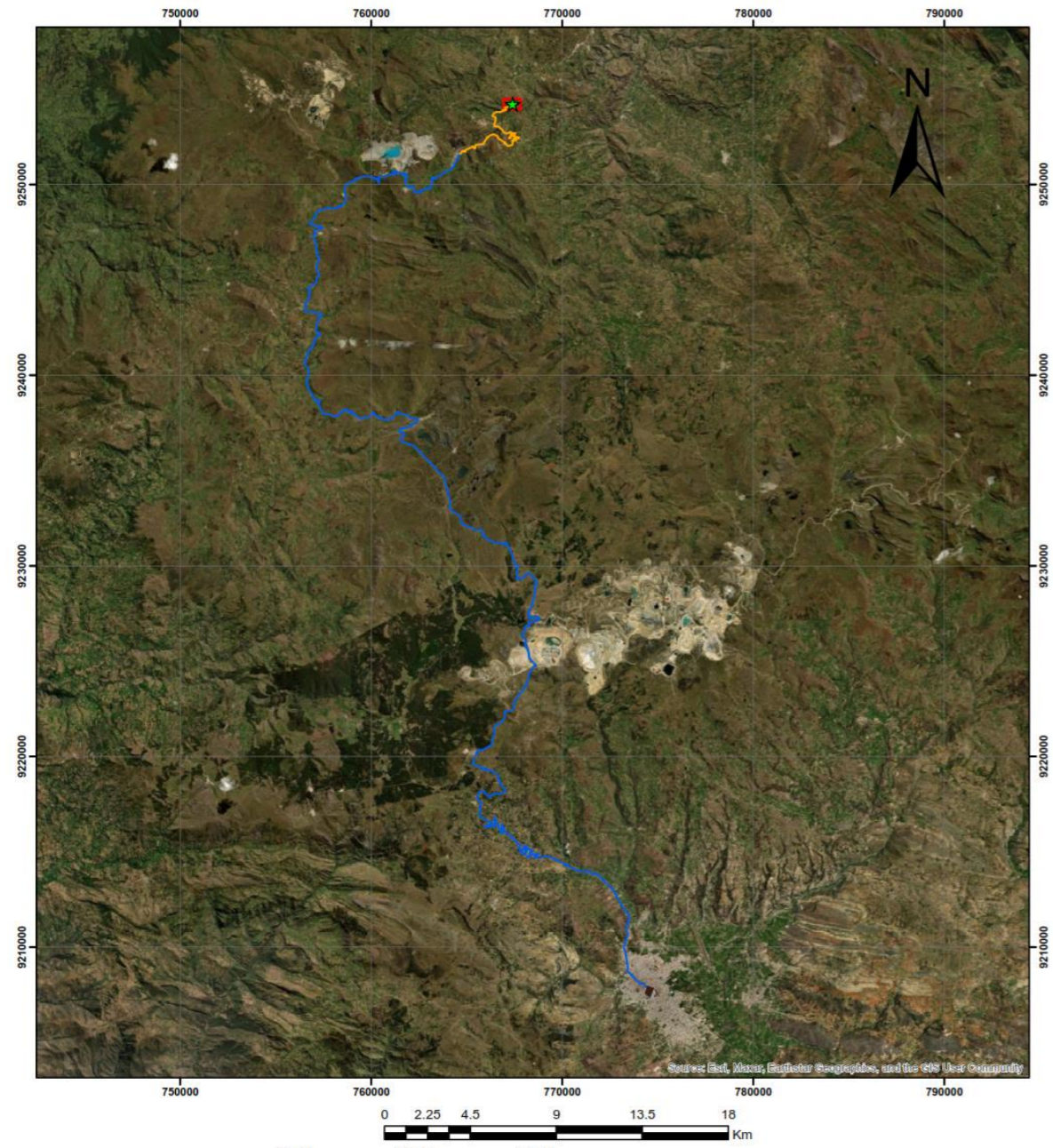


ESPECIMEN	ESFUERZO NORMAL (kg/cm²)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm²)
1	0.500	0.389
2	1.000	0.472
3	2.000	0.634

PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE		
COHESIÓN (C) =	0.308	kg/cm ²
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (φ)=	9.26	°

Anexo 09:

MAPA DE UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD



Leyenda

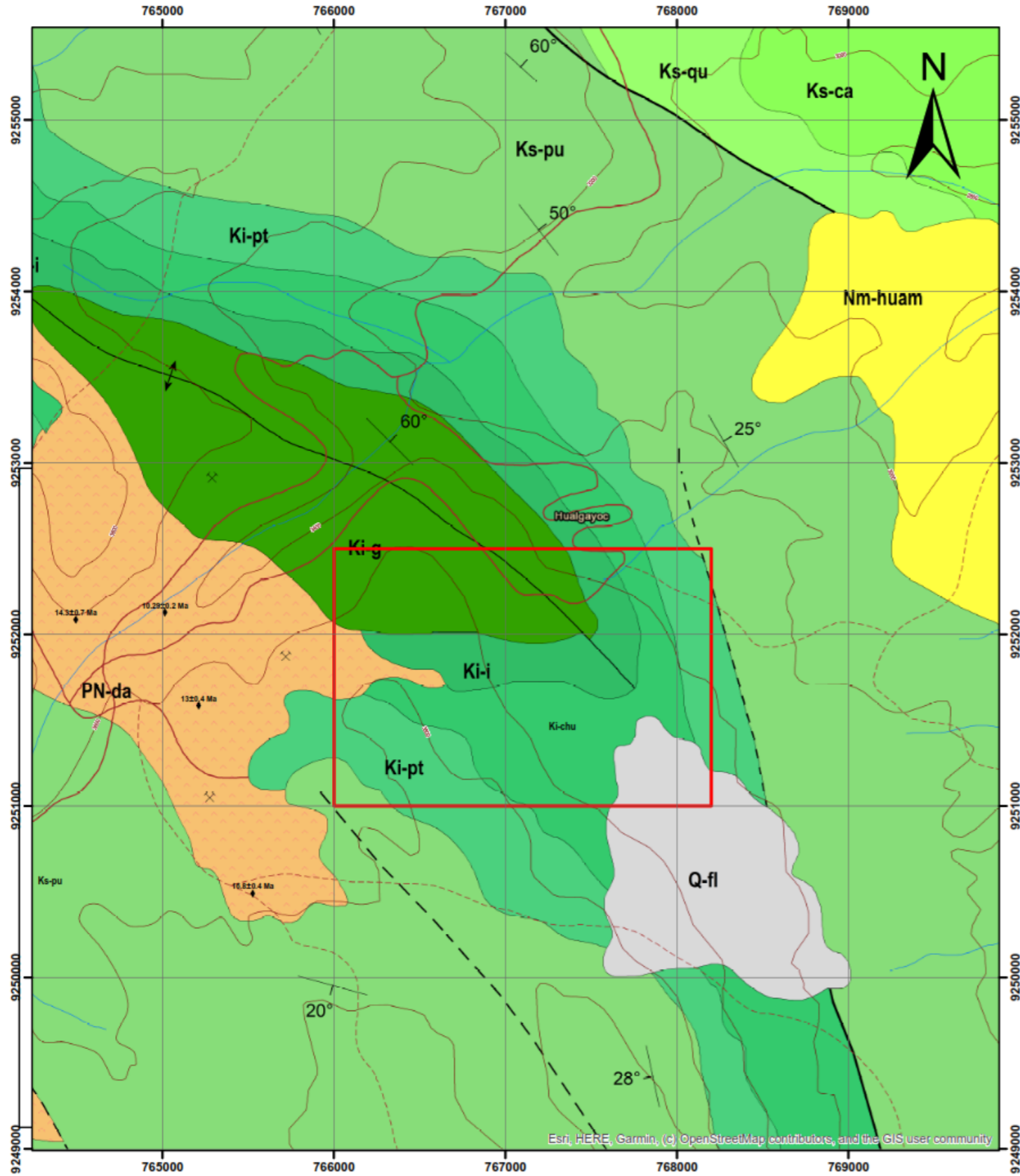
- ★ distrito de hualgayoc
- ★ ciudad de cajamarca
- trocha carrozable
- via principal pavimentada
- área de estudio



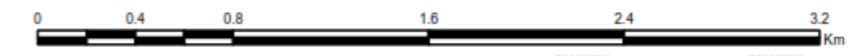
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
Carrera de Ingeniería Geológica			
EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL TRAMO KM 1360+800 A KM 1362+200 DE LA CARRETERA HUALGAYOC - BAMBAMARCA - CAJAMARCA, 2023			
	PLANO: Ubicación y Accesibilidad		PLANO N° 01
	DPTO.	PROV.	DISTRITO
Cajamarca	Hualgayoc	Hualgayoc	Sistema de coordenadas: UTM-WGS84 ESCALA: 1:200 000

Anexo 10:

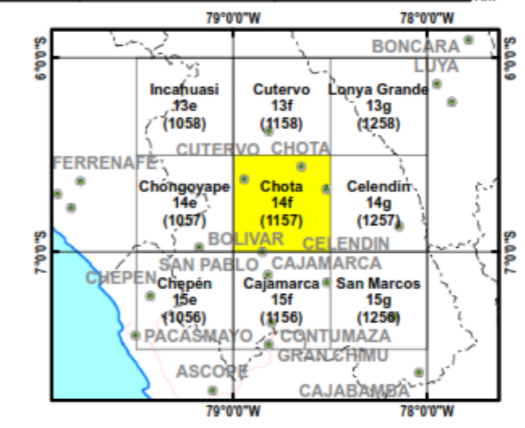
PLANO GEOLÓGICO DE HUALGAYOC



LEYENDA				ROCAS SUBVOLCANICAS	
ERATEMA	SERIE	EDAD (Ma)	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS		
CENOZOICO	HOLOCENO	0.01	Deposito fluvial	Q-fl	
		0.01			
	PALEOGENO-NEOGENO (CUATERNARIO SISTEMA)	PLEISTOCENO	2.58		
		PLIOCENO	5.33		
		MIOCENO	20.03	F. Huambos	Nm-huam
		OLIGOCENO	33.9		
MESOZOICO	CRETACICO	66.0	F. Cajamarca	Ks-ca	
		66.0	G. Quiquián	Ks-qu	
66.0		G. Pultucana	Ks-pu		
100.5		Formación Parlatambo	Ki-pt		
100.5		Formación Chulec	Ki-chu		
100.5		Formación Inca	Ki-i		
INFERIOR	G. Goyláncuzaga	100.5	F. Farrat	Ki-f	
		100.5	F. Carhuaz	Ki-ca	



- SÍMBOLOS**
- Rumbo y buzamiento de estratos
 - Falla normal
 - Eje de anticlinal
 - Contacto geológico
 - Contacto geológico inferido
 - Mina activa
 - Curva de nivel - Primaria
 - Río principal
 - Carretera asfaltada, dos o mas vías
 - Carretera afirmada, transitable
 - Camino carrozable



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
Carrera de Ingeniería Geológica			
EVALUACIÓN GEOMECAÁNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL TRAMO KM 1360+800 A KM 1362+200 DE LA CARRETERA HUALGAYOC - BAMBAMARCA - CAJAMARCA, 2023			
	PLANO: GEOLÓGICO Regional	PLANO N° 02	
	DPTO. Cajamarca	PROV. Hualgayoc	DISTRITO Hualgayoc
Sistema de coordenadas: UTM-WGS84		ESCALA: 1:25000	