

Evaluación geológica, geodinámica & geotécnica del tramo vial Ninacaca-Huachón (Cerro de Pasco)

GEOLOGICAL, GEODYNAMICS AND GEOTECHNICALS ASSESSMENT FOR NINACACA-HUACHÓN HIGHWAY LOCATED IN CERRO PASCO

Teófilo Allende*, Christian Obregón**, Carlos Rossello*** & Wilson López****

RECIBIDO: 15/01/2014 – APROBADO: 03/02/2014

RESUMEN

Se presentan los resultados de la evaluación geológico-geodinámica y geotécnica para el tramo vial Ninacaca-Huachón (Cerro de Pasco). Este comprendió un mapeo geológico-geodinámico general del eje de la vía, a fin de caracterizar las unidades litoestratigráficas y evaluar los movimientos en masa que representen potenciales peligros geológicos para el tramo de la carretera.

El mapeo geomecánico consistió en la ejecución de 14 estaciones de registro volumétrico, distribuidas estratégicamente a lo largo del eje vial. En estos se registraron las estructuras geológicas mayores (fallas) y menores (diaclasas), orientadas a la evaluación de la estabilidad física de taludes.

El resultado del análisis de las discontinuidades principales para el área de estudio indican que el arreglo estructural está representado por 3 sistemas de diaclasas en las rocas graníticas; 2 sets principales de juntas, con cierta dispersión en su distribución, y 1 familia correspondiente a la esquistosidad, para las rocas metavolcánicas; y para las calizas les corresponde 2 familias principales de juntas (J1) y (J2), además de 1 sistema localizado de estratificación, variable en orientación.

El análisis de estabilidad cinemática fue ejecutado con el uso del software de cómputo DIPs V. 5.1. Esto se realizó a fin de identificar los modos potenciales de falla según técnicas estereográficas y aplicando el test de Markland. Identificándose modos de inestabilidad variable (planar, cuña y vuelco), en función de la litología, el ángulo de fricción y la dirección e inclinación de la cara del talud.

Palabras clave: Geología, geotecnia, geodinámica, geomecánica, análisis cinemático.

ABSTRACT

The results of the Geodynamics and Geotechnical assessment for Ninacaca – Huachon highway, located in Cerro Pasco, are presented in this article. Is included a general geological and geodynamic framework, in order to characterize the lithostratigraphic units and evaluate mass movements that represent potential geologic hazards to the road.

The geomechanical mapping involved the execution of 14 volumetric registration stations strategically located along the road axis. We registered principal geological structures such as faults; and secondary structures like joints too. This all was aimed at evaluating the physical stability of natural slopes.

The result of the analysis of the main discontinuities for the study area indicate that the structural arrangement is represented by 3 sets of joints in granitic rocks; 2 main sets of joints, with some dispersion in their distribution and one family corresponding to the foliation, for metavolcanic rocks; for limestones 2 families of main joints (J1) and (J2), plus 1 system of located stratification variable in orientation.

* Docente FIGMM - UNMSM, tallendec@unmsm.edu.pe

** Egresado EAP Geología - UNMSM, christian.obregon.mtm@gmail.com

*** Estudiante EAP Geología - UNMSM.

**** Docente de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica - Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Kinematic stability analysis was performed with the use of computer software V. 5.1 DIPS. This was done in order to identify potential failure modes based on stereographic techniques; and applying the Markland Test. Identifying variable instability modes (i.e. planar, wedge and toppling) depending on lithology; the friction angle and the direction and inclination of the slope face.

Keywords: Geology, geotechnics, geodynamics, geomechanics, kinematic analysis.

I. UBICACIÓN

La carretera vial Ninacaca-Huachón consta de un tramo de 47 km. Está ubicada en la región Pasco, provincia Pasco; y une las localidades de Ninacaca (4,140 msnm) y Huachón (3,500 msnm). Ver Tabla N° 1.

Tabla N° 1. Ubicación del proyecto

Región	Pasco
Provincia	Pasco
Localidades	Varias
Altitud	4,140 m.s.n.m. (NINACACA)
	3,500 m.s.n.m. (HUACHÓN)
Ninacaca (Origen)	N 8°798,990.29 E 378,674.11
Huachón (Destino)	N 8°825,279.17 E 395,723.36

II. CONTEXTO GEOLÓGICO

En el área de estudio afloran rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas, que van desde el Precámbrico hasta el Jurásico inferior, sobre las cuales se distribuyen también depósitos recientes del Cuaternario.

Las unidades litoestratigráficas que se observan en el tramo de estudio que va desde Ninacaca a Huachón, van descendiendo en el tiempo geológico, teniéndose así:

El grupo Pucará (Triásico superior - Jurásico inferior) consta de calizas dispuestas en estratos tabulares de espesor variable, de color gris claro, se presentan en afloramientos con diferente grado de fracturamiento y también algo masivos. El grupo Mitú (Pérmico superior-Triásico inferior) es una secuencia de color rojiza, constituida por areniscas conglomerádicas y areniscas. El grupo Cabanillas (Devónico) está constituido por lutitas pizarrosas con intercalaciones de areniscas, observándose un grado de metamorfismo con cierta esquistosidad (cobbing, 1996).

El complejo metamórfico del Marañón (Precámbrico) está constituido por una secuencia homogénea de filitas, y en algunos sectores como esquistos micáceos; en el cual se han identificado un sistema de esquistosidad bien notoria. En la parte final del tramo, la litología está comprendida

por el cuerpo intrusivo Monzogranito Ranyac (Triásico-Jurásico), constituida por rocas intrusivas que gradan de monzogranito a granodiorita, se encuentran diaclasadas y constituidas por cristales bien desarrollados de feldespato potásico, plagioclasas y cuarzo principalmente, y con biotita como accesorio. Observándose en todo el tramo de la carretera una serie de depósitos (coluviales, fluviales y glaciales) del Cuaternario reciente.

III. EVALUACIÓN GEODINÁMICA

3.1. Geodinámica externa: Movimientos en masa

El trazo vial del eje de la carretera Ninacaca-Huachón corta diferentes afloramientos de roca y depósitos cuaternarios. En algunos sectores y sus alrededores se han observado índices de inestabilidad moderados, relacionados con deslizamientos (mayores y menores), desprendimientos y caídas de bloques, erosión de riberas, suelos saturados inestables, filtraciones, evidencias de flujos o huaycos antiguos (reconocidos o inferidos), afloramientos de roca fracturadas y meteorizadas; entre otros.

En tal sentido, y sobre la base de que la estabilidad física se relaciona directamente con el grado de resistencia de los elementos litoestructurales y morfológicos presentes, se ha visto la necesidad de identificar, describir y analizar los procesos geodinámicos arriba mencionados a lo largo de la carretera, a fin de asegurar la estabilidad física del tramo. Ver Figura N° 3.

3.1.1. Erosión ribereña

Generalmente, en épocas de lluvia, las precipitaciones pluviales hacen que los ríos aumenten su caudal, lo que ocasiona consecuentemente un mayor grado de erosión de las riberas del cauce que las que se tiene en las épocas de estiaje. Además, si se trata de materiales incompetentes, muy vulnerables frente a las fuerzas hidrostáticas, el poder erosivo del río aumenta significativamente, socavando más su lecho y márgenes adyacentes a este. Ver Figura N° 1.



Figura N° 1. Erosión fluvial de riberas contigua a la carretera.

3.1.2. Huaycos

Los huaycos representan un proceso evolutivo natural de evacuación de materiales sólidos de la cuenca. Cuando las lluvias estacionales son torrenciales y llegan después de un largo periodo de sequía, estos fenómenos encuentran a los suelos inestables, conformado por suelos secos con escasa o ninguna cobertura vegetal, como elementos vulnerables a ser movidos pendiente abajo, desencadenados por un agente externo (precipitaciones extremas). Es así que las aguas llegan a las quebradas secundarias, aumentando su energía cinética durante el trayecto hasta el curso principal de la red de drenaje, cada vez aumenta su carga por erosión y caídas sucesivas de materiales al canal de escurrimiento, transportando bloques rocosos que dan fuerza destructiva, imposible de detener después que el huayco es formado. Ver Figura N° 2.



Figura N° 2. Flujo de detritos antiguo conformado por depósito de bloques heterométricos y caóticos.



Figura N° 3. Caídas de rocas en sectores críticos de la carretera, formando conos de acumulación al pie del talud.

3.1.3. Caída de rocas

Corresponden a caídas ladera abajo, de forma repentina. Estos pueden tener un agente intrínseco, puramente gravitacional, o un agente extrínseco, en el que el fenómeno se ve desencadenado por factores externos, ya sea eventos sísmicos y/o precipitaciones. Las caídas de roca son fenómenos repentinos que se dan por la pérdida de la resistencia al esfuerzo cortante o, como en algunos sectores, por el aumento de la presión de poros de la roca. Muchas de estas caídas se desarrollan sobre planos preferenciales siguiendo las orientaciones de las discontinuidades. Sin embargo, algunos otros no presentan planos superficies definidos de deslizamiento. Ver Figura N° 3

3.1.4. Deslizamientos

Estos fenómenos suelen producirse en zonas de taludes constituidas geológicamente por afloramientos rocosos intensamente fracturados y en un grado alto de meteorización. Siendo el grado de fracturamiento y meteorización lo que origina la rotura y posterior desplazamiento de una masa de roca fragmentada, acumulando todo el material al pie del talud. Sin embargo, debemos recalcar que son pocos los deslizamientos en roca. La mayoría de los sectores presentan deslizamientos que ocurren en depósitos fluvio-glaciares y morrénicos. Estos se desarrollan localmente ya que la vegetación típica de la zona coadyuva como elemento reforzante en contra del deslizamiento. Sin embargo, las precipitaciones en forma de granizada principalmente, según la altitud de la zona de estudio, provoca la percolación del agua, lubricando así la potencial superficie de falla y favoreciendo a su movimiento (Ayala, 1991).

3.2. Geodinámica interna: Sismicidad & peligro sísmico

El borde occidental de Sudamérica se caracteriza por ser una de las regiones sísmicas más activas del mundo. El Perú forma parte de esta región y su actividad sísmica más importante está asociada al proceso de subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental sudamericana.

En tal sentido, el tramo vial Ninacaca-Huachón se encuentra en un ambiente continental influenciado principalmente por el proceso de subducción que ha dado lugar a grandes sismos de interplaca (interfase) o de zona de Benioff. Asimismo, según los registros de sismicidad instrumental, han acontecido sismos de intraplaca de profundidad intermedia y, por último, sismos corticales (superficiales) como resultado del reajuste de la corteza por los esfuerzos en la convergencia de placas. Por este motivo, se considera la potencial ocurrencia de cualquiera de estos tres tipos de sismos en el desarrollo de este trabajo. Ver Figura N° 4.

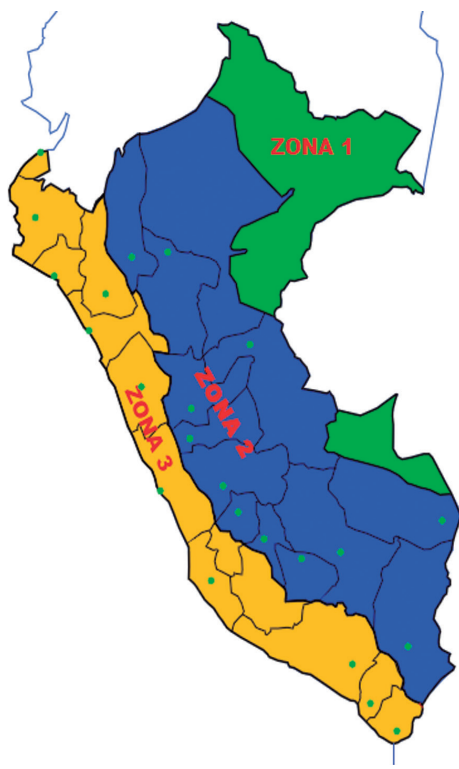


Figura N° 4. Zonificación sísmica del Perú.

Según la Norma Sismorresistente E030 de la Regulación Nacional (2006) y el Mapa de Riesgo Sísmico del Perú, el área de estudio está ubicado en la zona N° 2 (sismicidad relativamente alta).

Los resultados del estudio de riesgo sísmico probabilístico indican que la aceleración máxima pico para el sitio es de 0.41 g. Los valores calculados representan la media (P.50) de la aceleración máxima del terreno y corresponden a un periodo de retorno de 475 años, con un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.

IV. ANÁLISIS GEOTÉCNICO

4.1. Mapeo geomecánico

El mapeo geomecánico de superficie se efectuó por el método de celda de detalle. Este método consiste en seleccionar un tramo representativo de afloramiento rocoso, donde se registraron: la orientación y condición de las estructuras mayores (fallas) y menores (diacclas); también se registraron los datos necesarios para hallar la calidad de la masa rocosa según la clasificación geomecánica de Bieniawski, más conocido como el sistema RMR (Rock Mass rating) - 1989 (Hoek, 1999), (Goodman, 1989).

En total se efectuaron 14 estaciones de mapeo geomecánico en el área de trabajo, las cuales fueron analizadas para los fines del presente estudio. Ver Tabla N° 2 y Figura N° 5.

Tabla N° 2. Resumen de ubicación de evaluaciones geomecánicas.

Estación	Ubicación	Progresiva	Coordenadas UTM ⁽²⁾		RMR	RDQ ⁽³⁾	Litología	Parámetros Geotécnicos	
			Este	Norte				Fricción (°) φ	Cohesión (Kpa) C
EG-01	Tramo Vial Ninacaca - Huachon	Progresiva 42 + 600	396662	8'822'168	72	80.9	Roca granítica	27.98	103.0
EG-02	Tramo Vial Ninacaca - Huachon	Progresiva 34 + 875	395361	8'821'007	72	75.4	Roca granítica		
EG-03	Tramo Vial Ninacaca - Huachon	Progresiva 32 + 672	393772	8'819'762	75	77.2	Roca granítica		
EG-04	Tramo Vial Ninacaca - Huachon	Progresiva 28 + 530	390017	8'819'136	71	73.6	Metamórfico Filita	27.82	95.0
EG-05	Tramo Vial Ninacaca - Huachon	Progresiva 27 + 680	389210	8'818'987	61	71.7	Roca Metavolcánica	26.50	99.0
EG-06	Tramo Vial Ninacaca - Huachon	Progresiva 26 + 460	388148	8'818'586	72	82.7	Metamórfico Excelsior		
EG-07	Tramo Vial Ninacaca - Huachon	Progresiva 26 + 100	387813	8'818'455	75	80.9	Metamórfico Excelsior		
EG-08	Túnel	Tramo inicial Túnel	(*)	(*)	64	82.7	Caliza Pucara	27.34	94.0
EG-09	Túnel	Tramo dentro del Túnel	(*)	(*)	67	79.1	Caliza Pucara		
EG-10	Túnel	Tramo dentro del Túnel	(*)	(*)	62	82.7	Caliza Pucara		
EG-11	Túnel	Tramo final Túnel	(*)	(*)	66	87.8	Caliza Pucara	27.36	106.0
EG-12	Tramo Vial Ninacaca - Huachon	Progresiva 19 + 184	383727	8'813'566	70	84.4	Caliza Pucara		
EG-13	Tramo Vial Ninacaca - Huachon	Progresiva 15 + 575	382756	8'810'332	75	82.7	Caliza Pucara		
EG-14	Tramo Vial Ninacaca - Huachon	Progresiva 14 + 360	382166	8'809'281	71	79.1	Caliza Pucara		

Simbología:

EG: Estación Geomecánica.

RMR: Rock Mass Rating, Bieniawski (1989).

RQD: Rock Quality Designation, Doree, et. al (1967).

Nota:

(1) Los registros de estaciones geomecánicas se encuentra en el Anexo A. del presente Informe.

(2) Las coordenadas mostradas fueron tomadas con GPS manual y son aproximadas.

(3) Los valores de RQD son los mínimos calculados empíricamente a partir de la densidad de fracturas por metro lineal (»).).

(*) No se pudieron registrar las coordenadas con GPS manual, por no captar señal al interior del túnel.

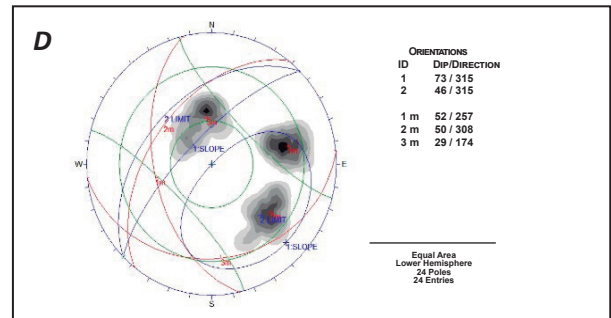
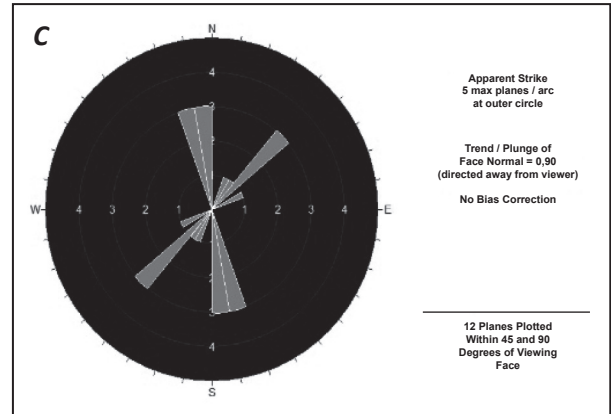
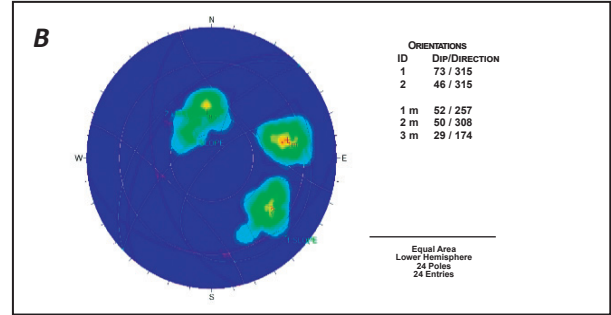


FIGURA N° 5

- A. Foto Estación Geomecánica N° 14.
- B. Gráfico de Contornos.
- C. Gráfico de Roseta.
- D. Análisis Cinemático.

4.2. Distribución espacial de discontinuidades

4.2.1. Estructuras mayores

La distribución de las estructuras mayores en el área del estudio indica una distribución general (E-W) de los sistemas de fallas definidos, los que se muestran en las Figuras N° 6: A y B.

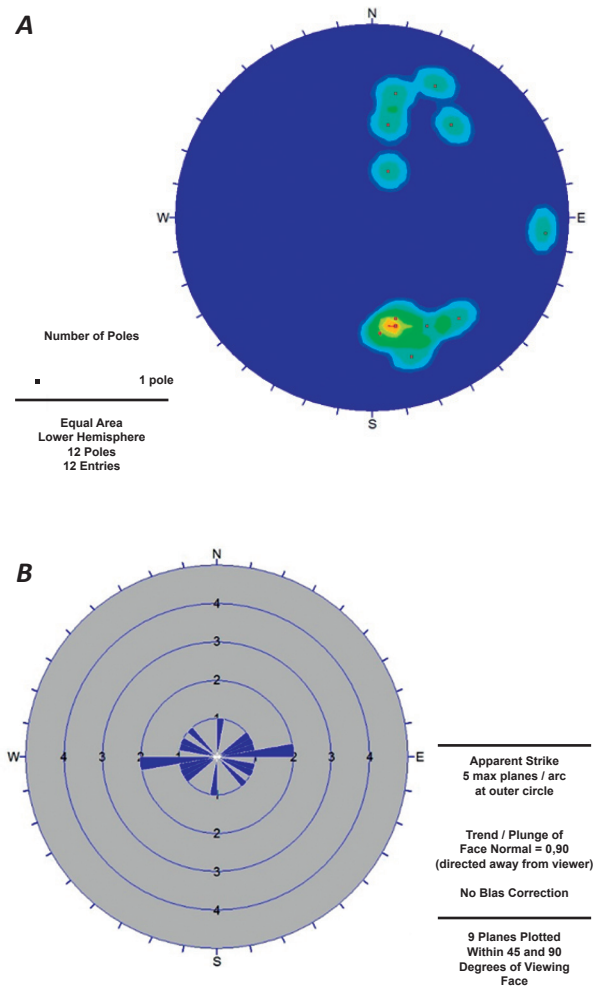


Figura N° 6:

- A: Estereograma de polos de los planos de falla.
- B: Diagrama de Rosas mostrando la tendencia general de orientación de las fallas (E-W).

4.2.2. Estructuras menores

Del total de las estaciones geomecánicas realizadas, se identificaron tres sistemas de diaclasamiento principales más un sistema secundario, además de los planos de estratificación general asociados.

El plano de estratificación sigue orientaciones generales de 42/233 (Dip/ DipDir), estos representan los afloramientos de calizas del grupo Pucará, principalmente. En la Figura N° 7A está representada por la mayor concentración de Fisher; y en la Figura N° 7B representada por el plano N° 1.

La esquistosidad sigue una orientación general principal de 77/130 (Dip/ DipDir). Corresponden a las rocas metamórficas y metavolcánicas, respectivamente. En la Figura N° 7A está representada por la tercera mayor concentración de Fisher y en la Figura N° 7B.

Las fracturas principales siguen dos tendencias generales: las principales de 42/233 (Dip/ DipDir) y de 52/101 (Dip/ DipDir) y la secundaria de 71/269 (Dip/ DipDir). Sin embargo, cabe mencionar que existe una gran dispersión de orientaciones de otras familias de juntas aleatorias, que no son consideradas al presentar una concentración de Fischer menor del 1.5%. Estos se presentan en los afloramientos de rocas ígneas principalmente, aunque también han sido identificadas en las calizas y rocas metamórficas.

En la Figura N° 7B está representada por los planos N° 1 y N° 2, para los principales y el plano N° 4 para el secundario.

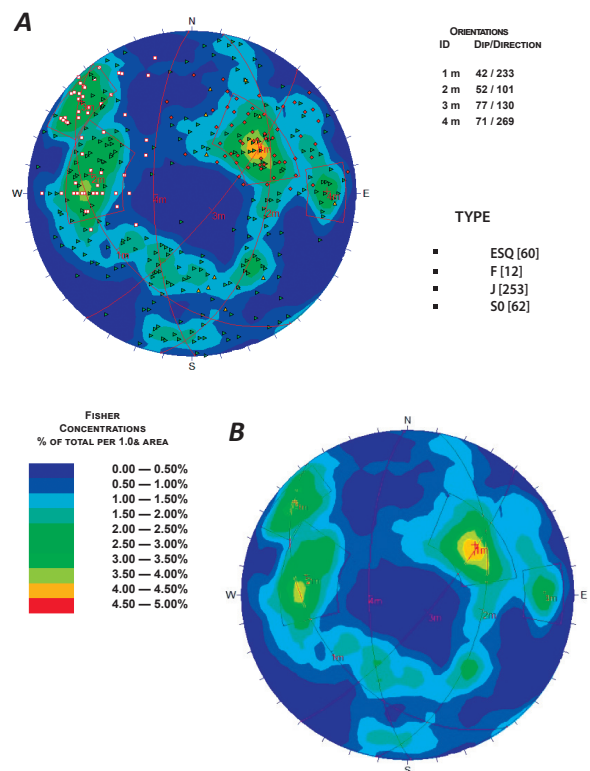


Figura N° 7: A: Estereograma compuesto de estructuras del transecto vial Ninacaca-Huachón. B: Estereograma compuesto de estructuras con orientaciones generales de los sets principales y secundarios.

4.3. Análisis de estabilidad cinemática

El análisis cinemático se realizó con el propósito de identificar los modos potenciales de falla a través de las superficies de discontinuidades del macizo rocoso que tienen orientaciones desfavorables, según la orientación de la cara del talud existente. Dicho análisis se fundamenta en el test de Markland (1972), empleando para ello proyecciones estereográficas que nos permiten evaluar gráficamente a las discontinuidades en grupos, familias o sets principales. Ver Figura N° 8 (Ayala, 1991).

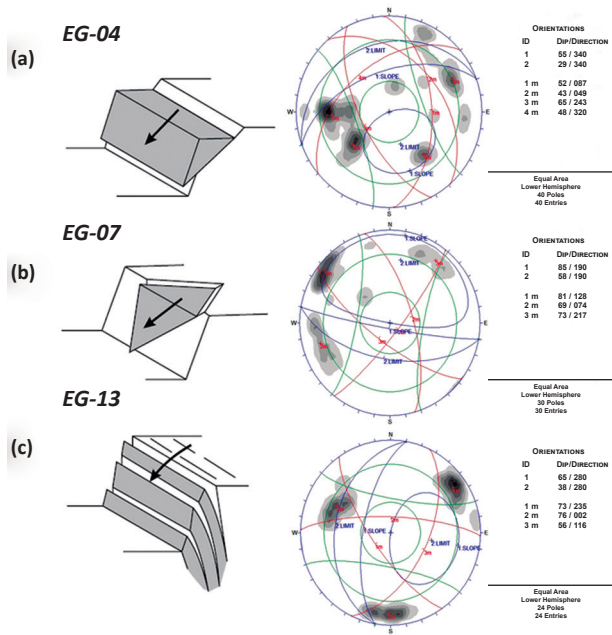


Figura N° 8. Modos potenciales de falla identificados en las estaciones geomecánicas (EG): (a) Cuña potencial, (b) Falla planar, (c) Vuelco mayor.

El levantamiento de datos orientacionales de las celdas geotécnicas y su posterior análisis estereográfico permitió identificar los modos de inestabilidad estructuralmente controlados en los taludes de roca. Estos son: fallas de tipo planar, en cuña y vuelco. Ver Tabla N° 03.

V. CONCLUSIONES

El área de estudio desde el punto de vista litoestratigráfico está representado por 3 unidades: 1 – Rocas graníticas pertenecientes al Monzogranito Ranyac (Triásico – Jurásico), 2 – Rocas sedimentarias compuestas por calizas del grupo Pucará y areniscas del Grupo Mitú (Pérmico superior-Triásico inferior), y 3 – Rocas metamórficas del Complejo del Marañón (Precámbrico). El cuaternario reciente está conformado por depósitos fluvio-glaciares (morrenicos), depósitos coluviales y eluviales.

El trazo vial del eje de la carretera Ninacaca–Huachón corta diferentes afloramientos de roca y depósitos cuaternarios. En algunos sectores y sus alrededores se han observado índices de inestabilidad moderadas, relacionadas con deslizamientos, desprendimientos y caídas de bloques, erosión de riberas, suelos saturados inestables, filtraciones, evidencias de flujos o huaycos antiguos (reconocidos e inferidos) y taludes de roca fracturadas y

Tabla N° 3. Estaciones geomecánicas y posibles mecanismos de falla¹.

Estación Geomecánica	Coordenadas UTM ⁽²⁾		RMR	RDQ ⁽³⁾	Litología	Familias que Producen Fallas		
	Este	Norte				Falla Planar	Falla por Cuña	Falla por Vuelco
EG-01	396662	8'822'168	72	80.9	Roca granítica	Falla Planar Set #1	Cuña entre Set #3 y Set #1	Arreglo estructural adverso insignificante
EG-02	395361	8'821'007	72	75.4	Roca granítica	Arreglo estructural adverso insignificante	Arreglo estructural adverso insignificante	Vuelco menor por dispersión del Set #2
EG-03	393772	8'819'762	75	77.2	Roca granítica	Planar Potencial Set #3	Cuña entre Set #2 y Set #3	Arreglo estructural adverso insignificante
EG-04	390'017	8'819'136	71	73.6	Metamórfico Filita	Arreglo estructural adverso insignificante	Cuña Potencial entre Set #1 y Se t#3 Set #2 y Se t#3	Arreglo estructural adverso insignificante
EG-05	389'210	8'818'987	61	71.7	Roca Meta-volcánica	Arreglo estructural adverso insignificante	Por dispersión de los Set #1 y Set #3	Vuelco probable por dispersión del Set #1
EG-06	388'148	8'818'586	72	82.7	Metamórfico Excelsior	Falla Potencial Set #2	Cuña Potencial Set #1 y Set #2 / Set #2 y Set #3	Arreglo estructural adverso insignificante
EG-07	387'813	8'818'455	75	80.9	Metamórfico Excelsior	Planar Set #4	Cuña Potencial Set #1 y Set #4 / Set #2 y Set #4 / Set #3 y Set #4	Arreglo estructural adverso insignificante
EG-08	(*)	(*)	64	82.7	Caliza Pucara	Planar por dispersión del Set #1	Cuña probable por dispersión del Set #1 y Set #3	Vuelco menor por dispersión del Set #2
EG-09	(*)	(*)	67	79.1	Caliza Pucara	Falla planar menor por dispersión Set #1	Cuña potencial Set #1 y Set #3	Vuelco mayor Set #2
EG-10	(*)	(*)	62	82.7	Caliza Pucara	Falla mayor por amplia dispersión del Set #1	Cuña potencial Set #1 y Set #3	Vuelco mayor Set #2
EG-11	(*)	(*)	66	87.8	Caliza Pucara	Falla planar por dispersión Set #2	Cuña potencial Set #2 y Set #3	Vuelco por amplia dispersión del Set #1
EG-12	383'727	8'813'566	70	84.4	Caliza Pucara	Planar mayor por dispersión Set #1 y Planar menor por dispersión Set #3	Cuña potencial Set #1 y Set #3	Arreglo estructural adverso insignificante
EG-13	382'756	8'810'332	75	82.7	Caliza Pucara	Arreglo estructural adverso no significativo	Cuña potencial Set #1 y Set #2	Vuelco mayor Set #3
EG-14	382'166	8'809'281	71	79.1	Caliza Pucara	Planar potencial Set #2	Cuña potencial Set #1 y Set #2	Arreglo estructural adverso insignificante

Simbología:

EG: Estación Geomecánica.

ID: Identificación Familia de Juntas.

RMR: Rock Mass Rating. Bieniawski (1989).

RDQ: Rock Quality Designation. Deere, et al. (1967).

Nota:

(1) Los registros de estaciones geomecánicas se encuentra en el Anexo A del presente Informe.

(2) Las coordenadas mostradas fueron tomadas con GPS manual y son aproximadas.

(3) Los valores de RDQ son los mínimos calculados empíricamente a partir de la densidad de fracturas por metro lineal (v).

(*) No se pudieron registrar las coordenadas con GPS manual, por no captar señal al interior del túnel.

meteorizadas. Estos constituyen peligros naturales recurrentes que potencialmente pueden afectar áreas urbanas y/o rurales, cobrar vidas humanas y dejar inoperativa la servicialidad de la vía.

Según la Norma Sismorresistente E030 (2006) y el Mapa de Riesgo Sísmico del Perú, la carretera Ninacaca-Huachón está ubicada en la zona N° 02 (sismicidad relativamente alta). Influenciada principalmente por el proceso de subducción que ha dado lugar a grandes sismos de interplaca (interfase). En función de la estimación probabilística del sismo de diseño, la aceleración máxima obtenida con un 10% de probabilidad de excedencia y 50 años de periodo de exposición sísmica ha sido calculada en un valor pico de 0.41 g para la zona de estudio.

El análisis de la distribución de las discontinuidades ha mostrado que, en general, en el área de estudio, el arreglo estructural de estructuras mayores (fallas) de la masa rocosa está conformado por un sistema generalizado de fallas, con orientación E-W. Las estructuras menores (juntas) muestran tendencias orientacionales en función de la litología correspondiente. En tal sentido, se tienen 3 sistemas de familias de juntas para las rocas graníticas, 2 sets principales de juntas, con cierta dispersión, en las rocas volcánicas y 1 familia correspondiente a la esquistosidad de la roca. En las calizas del grupo Pucará tenemos 2 familias principales de juntas (J1) y (J2), variables entre E-W y NE-SW, para el primer caso; y variable entre N-S y NE-SW, para el segundo. Presentado, además, 1 sistema localizado de estratificación, variable dentro de rangos de orientación de WNW-ESE a NNW-SSE.

El análisis de estabilidad de taludes en términos cinemáticos empleó técnicas estereográficas aplicando el test de Markland. Esto a fin de determinar los mecanismos potenciales de falla de los taludes de roca, siguiendo las discontinuidades por las que se ve cortada. El análisis estructuralmente controlado nos permite concluir que la zona de estudio se ve afectada por inestabilidades del tipo planar, vuelco y cuña, cuyas magnitudes se ven influenciadas principalmente por la orientación y ángulo de la cara del talud existente, además del ángulo de fricción del macizo rocoso.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cobbing, J.; Quispesivana, L. & Paz, M. (1996).- Geología de los cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, N° 77, 238 p
2. Ayala Carcedo, F. (1991).- Manual de Ingeniería de Taludes. Instituto Tecnológico Geominero de España.
3. Bieniawski, Z.T. (1989).- Engineering Rock Mass Classifications, Wiley, New York.
4. Hoek, E. and Bray, J.W. (1999).- Rock Slope Engineering, 3° Ed. Institution of Mining and Metallurgy. London.
5. Goodman, R. E. (1989).- Introduction to Rock Mechanics, 2° Ed. Jhon Wiley.