

# EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEODINÁMICA & GEOTÉCNICA DEL TRAMO VIAL NINACACA – HUACHON (CERRO DE PASCO)

Teófilo Allende, Christian Obregon, Carlos Rossello & Wilson López

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.  
E.A.P. Ing. Geológica

## RESUMEN

Se presentan los resultados de la evaluación geológica – geodinámica y geotécnica para el tramo vial Ninacaca – Huachon (Cerro Pasco). Este comprendió un mapeo geológico-geodinámico general del eje de la vía, a fin de caracterizar las unidades lito-estratigráficas 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), orientado 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 en base a 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 CLAVES

Geología, geotecnia, geodinámica, geomecánica, análisis cinemático.

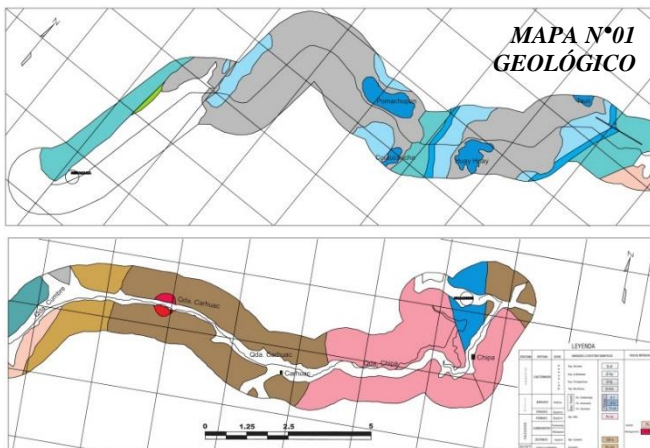
## UBICACIÓN

La carretera vial Ninacaca - Huachón, consta de un tramo de 47 Km. Este está ubicado la región Pasco, provincia Pasco; y une las localidades de Ninacaca (4,140 msnm) y Huachon (3,500 msnm).

## 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 Huachon, van descendiendo en el tiempo geológico, teniéndose así:



El Grupo Pucara (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.

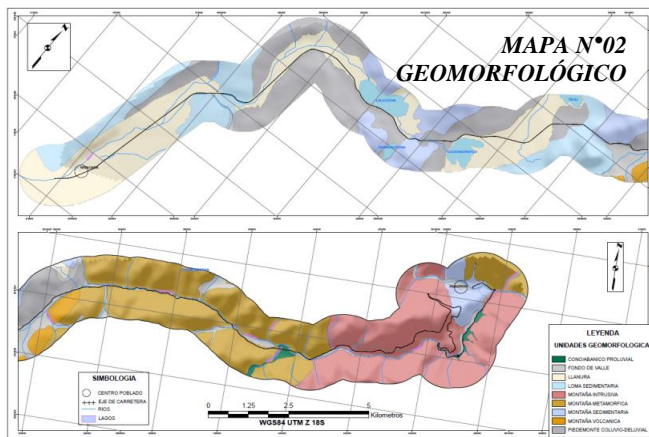
El Complejo metamórfico del Marañón (Precámbrico), está constituido por una secuencia homogénea de filitas, y en algunos sectores como

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 encuentra diaclasadas, y constituido 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.

## EVALUACIÓN GEODINÁMICA

### GEODINÁMICA EXTERNA: MOVIMIENTOS EN MASA

El trazo vial del eje de la carretera Ninacaca – Huachon, corta diferentes afloramientos de roca y depósitos cuaternarios. En algunos sectores y sus alrededores se han observado índices de inestabilidad moderadas, 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 carreta, a fin de asegurar la estabilidad física del tramo.

### 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 –Huachon, se encuentra en un ambiente continental influenciado principalmente por el proceso de subducción que ha dado lugar a grandes sismos de interfase (interfase) o de zona de Benioff, así mismo según los registros de sismicidad instrumental se han acontecido sismos de intraplaca de profundidad intermedia, y por último sismos corticales (superficiales) como resultado del reacomodo de la corteza por los esfuerzos en la convergencia de placas. Por este motivo se consideran la potencial ocurrencia de cualquiera de estos tres tipos de sismos en el desarrollo de este trabajo.

Según la Norma Sismoresistente E030 de la Regulación Nacional (2006) y el Mapa de Riesgo Sísmico del Perú, el área de estudio está ubicado en la Zona N° 02 (sismicidad relativamente alta).

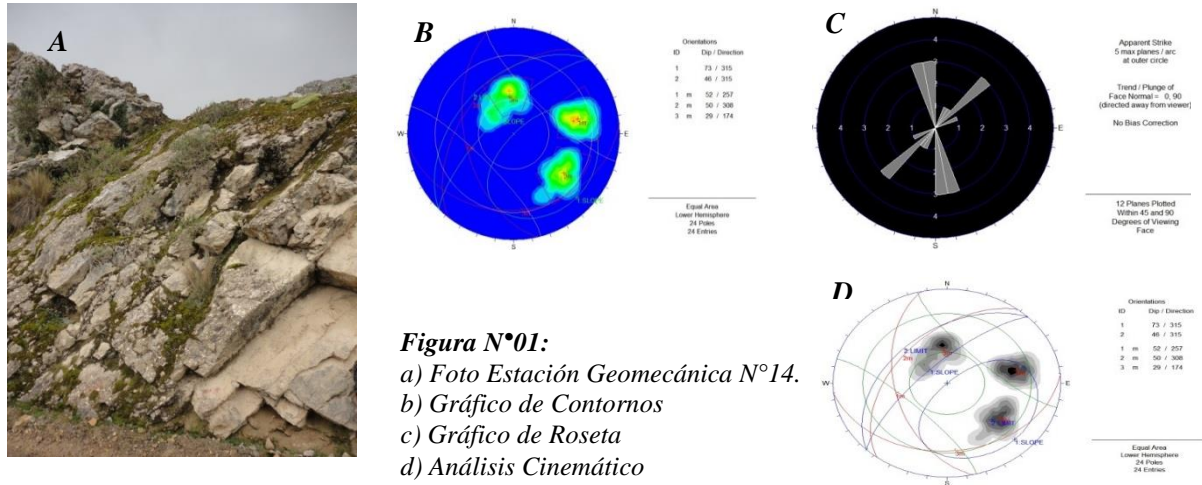
Los resultados del estudio de riesgo sísmico probabilístico indican que la aceleración máxima pico para el sitio es de 0,41 g. Los valores calculados representan la media (P.50) de la aceleración máxima del terreno; y corresponden a un período de retorno de 475 años con un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.



## ANÁLISIS GEOTÉCNICO MAPEO GEOMECAÍNICO

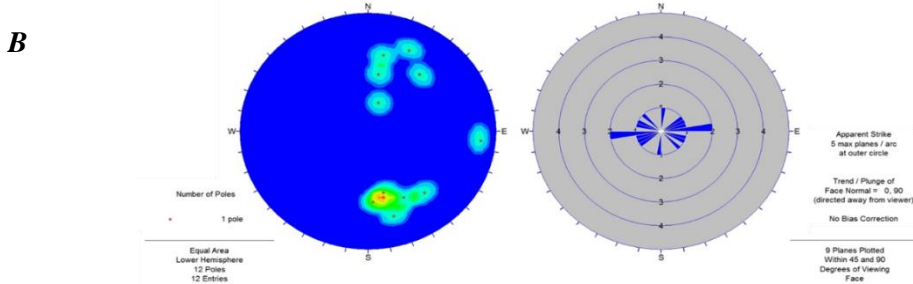
El mapeo geomecánico de superficie se efectuó por el método de celda de detalle. Este método consiste en seleccionar un tramo representativo de afloramiento rocoso, donde se registraron: la orientación y condición de las estructuras mayores (fallas); y menores (diaclasas); también se registraron los 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.

En total se efectuaron 14 estaciones de mapeo geomecánico en el área de trabajo las cuales fueron analizadas para los fines del presente estudio.



## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE DISCONTINUIDADES 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°02: A y B.



## ESTRUCTURAS MENORES

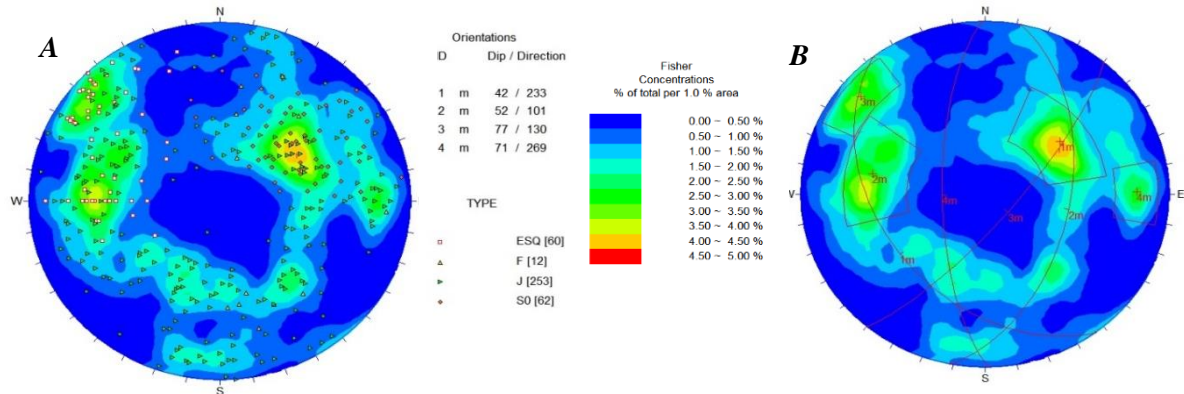
Del total de las estaciones geomecánica realizadas, se identificaron tres sistemas de diaclasamiento principales más un sistema secundario, además de los planos de estratificación general asociados.

El plano de estratificación sigue orientaciones generales de 42/233 (Dip/ DipDir), estos representan los afloramientos de calizas del Grupo Pucara principalmente. En la Figura N°03A está representada por la mayor concentración de Fisher; y en la Figura N°03B representada por el plano N°1.

La esquistosidad sigue una orientación general principal de 77/130 (Dip/ DipDir). Corresponden a las rocas metamórficas y metavolcanicas respectivamente. En la Figura N°03A está representada por la tercera mayor concentración de Fisher; y en la Figura N°03B por el plano N°3, respectivamente.

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 al 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°03B está representada por los planos N°1 y N°2, para los principales y el plano N°04 para el secundario.



**FIGURA N°03:** A.- Estereograma compuesto de estructuras del transecto vial Ninacaca – Huachon. B.- Estereograma compuesto de estructuras con orientaciones generales de los sets principales y secundarios.

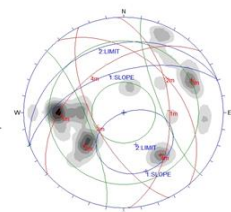
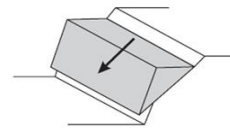
### ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CINEMÁTICA

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 permite evaluar gráficamente a las discontinuidades agrupándolas en grupos, familias o sets principales.

Del 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, siendo estos: fallas de tipo planar, en cuña y vuelco.

#### EG-04

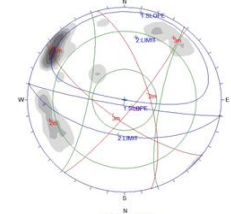
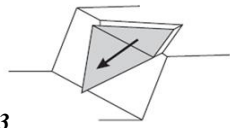
(a)



Orientations	
ID	Dip / Direction
1	30° / 340
2	29° / 340
Equal Area	
Lower Hemisphere	
40 Entries	

#### EG-07

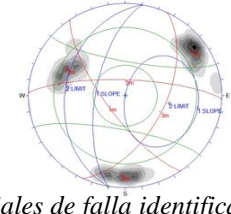
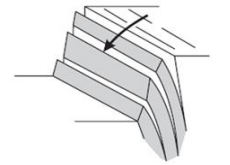
(b)



Orientations	
ID	Dip / Direction
1	85° / 190
2	50° / 280
Equal Area	
Lower Hemisphere	
30 Entries	

#### EG-13

(c)



Orientations	
ID	Dip / Direction
1	65° / 200
2	50° / 280
Equal Area	
Lower Hemisphere	
24 Entries	

**Figura N°04** Modos potenciales de falla identificados en las Estaciones Geomecánicas (EG): (a) Cuña Potencial, (b) Falla Planar: v (c) Vuelco Mayor.

### CONCLUSIONES & RECOMENDACIONES

- El área de estudio desde el punto de vista lito-estratigráfico, está representado por 3 unidades: 1 – Rocas Graníticas pertenecientes al Monzogranito Ranyac (Triásico – Jurásico), 2 – Rocas Sedimentarias compuesto 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 (morrénicos), depósitos coluviales y eluviales.
- El trazo vial del eje de la carretera Ninacaca – Huachon, 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 meteorizadas. Estos constituyen peligros

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

- Según la Norma Sismoresistente E030 (2006) y el Mapa de Riesgo Sísmico del Perú, la carretera Ninacaca - Huachon está ubicado 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 base a 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), muestra tendencias orientacionales en función a 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 Pucara 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 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 afín de determinar los mecanismos potenciales de falla de los taludes de roca siguiendo las discontinuidades por las que se ve cortada. En 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.

## REFERENCIAS

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.