

# **XVII CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD Y TRÁNSITO**

---

## **EVALUACIÓN DE APLICACIONES GEOMECÁNICAS PARA EL DISEÑO DE CAMINOS**

Autores: Ing. Ricardo Barletta, Ing. Pascual Chuchuy y Dr. Armando Massabie

Empresa: IATASA

Dirección: Tacuarí 32, 9° Piso, (C1071AAB) Buenos Aires, Argentina

Tel: (54-11) 5077-9300

E-mail: [rbarletta@iatasa.com](mailto:rbarletta@iatasa.com); [pchuchuy@iatasa.com](mailto:pchuchuy@iatasa.com); [amassabie@iatasa.com](mailto:amassabie@iatasa.com);

## RESUMEN

Se describen las tareas desarrolladas en los estudios geomecánicos aplicados para el diseño de los contrataludes y su excavación, en un tramo de la Ruta Provincial N°7, atendiendo a los nuevos accesos que demandará la explotación del yacimiento Vaca Muerta cercano a la localidad de Añelo, provincia del Neuquén.

El tramo de camino considerado, se dispone en un nivel inferior sobre terrazas aluviales jóvenes asociadas al río Neuquén, al este, se acerca progresivamente al pie de la barda y luego la atraviesa hasta ubicarse sobre la terraza superior de gravas con cementación calcárea al oeste.

En la barda afloran sedimentitas cretácicas del Grupo Neuquén con estratos subhorizontales de limo arenitas competentes, intercalados con pelitas débiles.

Inicialmente, se tomaron muestras de roca competente y se obtuvieron medidas del espaciado de discontinuidades durante los trabajos de campo, efectuándose luego ensayos de carga puntual para estimar la resistencia a la compresión, y evaluar el método de excavación. Para ello se utilizaron los gráficos de "Clasificación de rocas según su excavabilidad", y sobre esta base, el macizo rocoso se clasificó como escarificable.

Para caracterizar la estabilidad global al deslizamiento en los contrataludes, se definió la composición y estructura del macizo rocoso, y junto con los valores obtenidos de ensayos de carga puntual, se estimaron los parámetros geotécnicos ( $\gamma$ ,  $c$  y  $\varphi$ ), con el empleo de la "Clasificación geomecánica de macizos rocosos RMR".

Finalmente, en función de la geometría y estratigrafía de los contrataludes se realizó un análisis de estabilidad global mediante la aplicación del software STABL.

## CONSIDERACIONES GENERALES

### Marco general del proyecto

El proyecto se emplaza en la provincia del Neuquén, en cercanías a la localidad de Añelo, 100 km al Oeste de Neuquén capital. Actualmente la localidad se desarrolla entre la barda y la margen izquierda del Río Neuquén y su altitud varía entre 400 msnm y 490 msnm aproximadamente.

La ciudad de Añelo se encuentra en el acceso a la Formación hidrocarburífera no convencional Vaca Muerta, que provoca un visible crecimiento del transporte petrolero de carga. Por este motivo, se analizaron las condiciones vehiculares y peatonales de los accesos viales a la localidad de Añelo y se determinaron las obras necesarias en la Ruta Provincial N° 7, la Ruta provincial N°17 y su vinculación en el tramo urbano de Añelo, tendientes a mejorar la seguridad de las personas y las trayectorias vehiculares de los tránsitos intervinientes.

La propuesta vial apunta a generar un circuito completo ágil que permita vincular al tránsito pesado entre Neuquén capital, Rincón de los Sauce y Cutral Co a través de la Ruta Provincial N°17, evitando circular por la zona urbana de Añelo. En la figura 1 se observan la zona de estudio y la zona de proyecto.

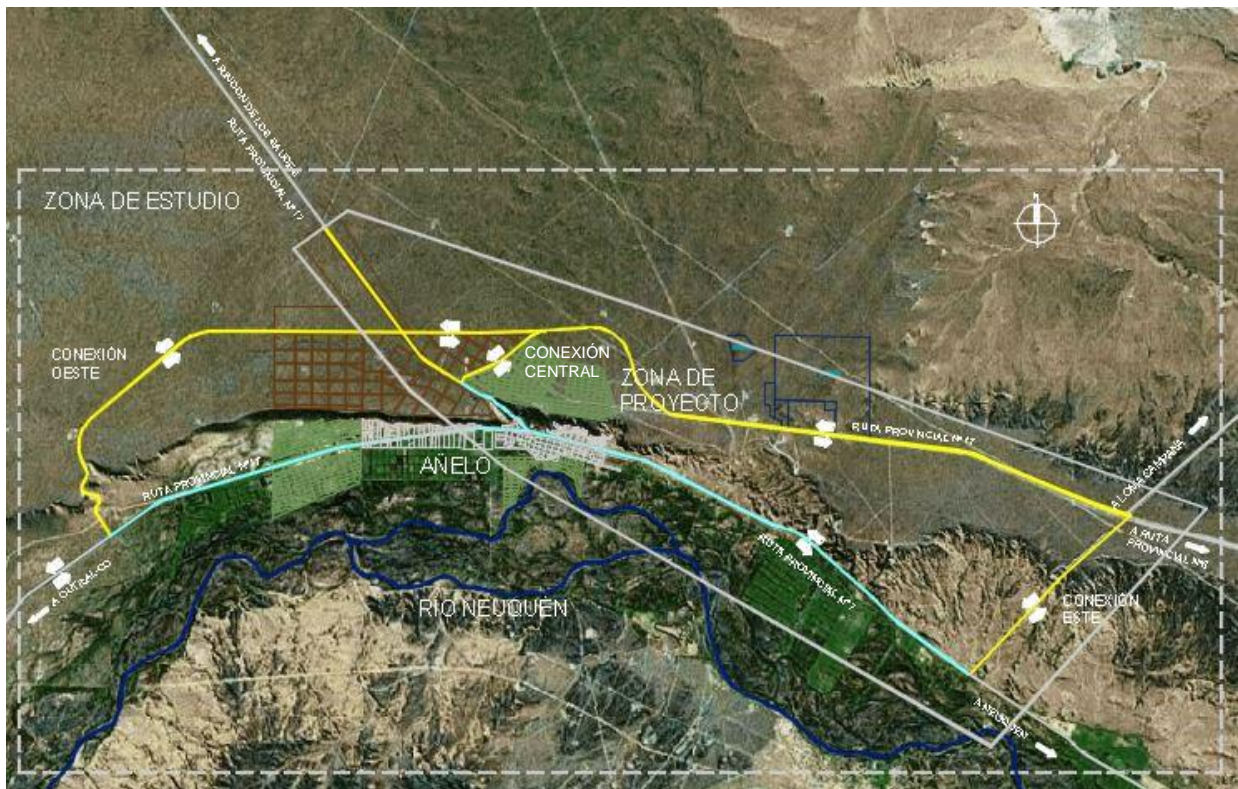


Fig.1. Zona de estudio y zona de proyecto

## Tránsito

La Ciudad de Añelo, al encontrarse en el acceso a uno de los recursos de petróleo y gas no convencionales más importante del mundo, presenta un visible crecimiento del transporte petrolero de carga.

Según el informe “Requerimientos para el desarrollo del reservorio de Vaca Muerta (Neuquén / Argentina)” elaborado por la Academia Nacional de Ingeniería, en el cual se informa el número de viajes de camiones anuales necesarios (de acuerdo con los insumos requeridos) para la explotación del yacimiento petrolífero Vaca Muerta, en el año 2020 serán necesario 462.000 viajes/año de camiones y 422.000 viajes/año en el año 2030 (ver Figura 2).

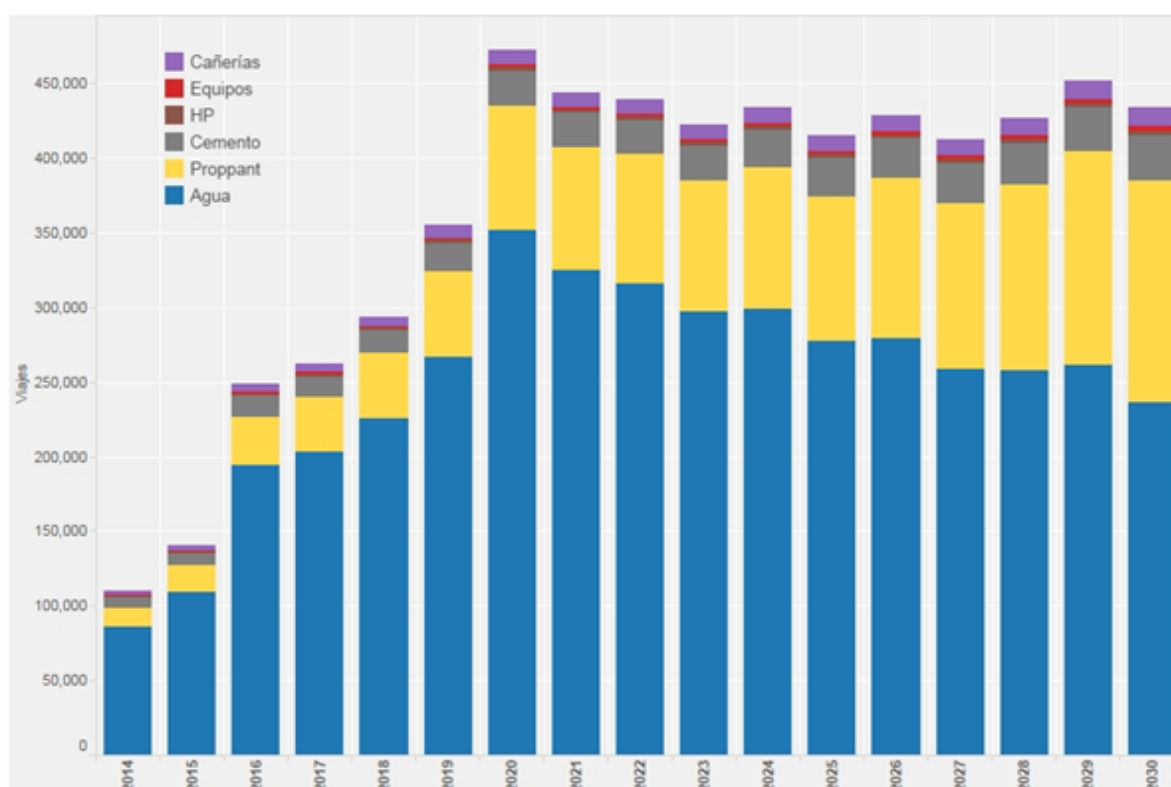


Fig. 2. Evolución de la cantidad de viajes de camiones  
Fuente: Academia Nacional de Ingeniería

Teniendo en cuenta la propuesta vial, el tránsito en la zona será dividido en dos categorías. La primera (señalada en azul en Figura 3) compuesta por la Sección I (Conexión Este), Sección II (Ruta Provincial N°17), Sección IV (Conexión Central) y Sección III (Ruta Provincial N° 7) entre progresivas 0,000m y 5.800m (empalme con Ruta Provincial N°17), por la cual circulará la mayor parte del tránsito pesado; y la segunda categoría (marcada en rojo en Figura 3) comprendida por la sección III entre progresivas 5.800m y 16.406,34m (fin de la sección III), en la cual se considera que circulará un 50% del tránsito definido para la primera categoría.

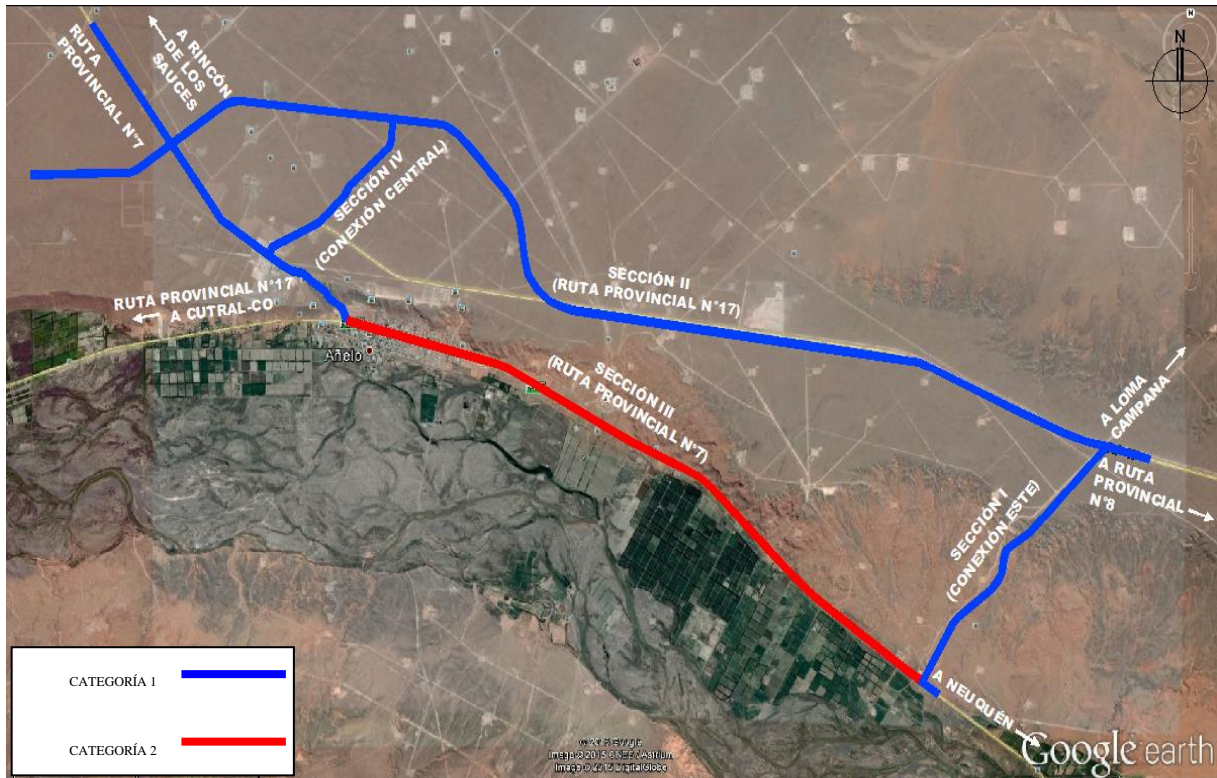


Fig. 3. Distribución del tránsito Ruta Provincial 7 y 17 Añelo

Considerando el TMDA actual, el crecimiento del tránsito local y regional, más el tránsito futuro provocado por el Desarrollo del Reservorio de Vaca Muerta para la explotación de los recursos de petróleo y gas no convencionales se estima que circulará un tránsito proyectado para el año 2033 (vida útil 25 años), expresado por el TMDA de:

Categoría 1: 8000 veh/día

Categoría 2: 4000 veh/día

En la figura 4 se muestra la evolución del TMDA para la categoría 1

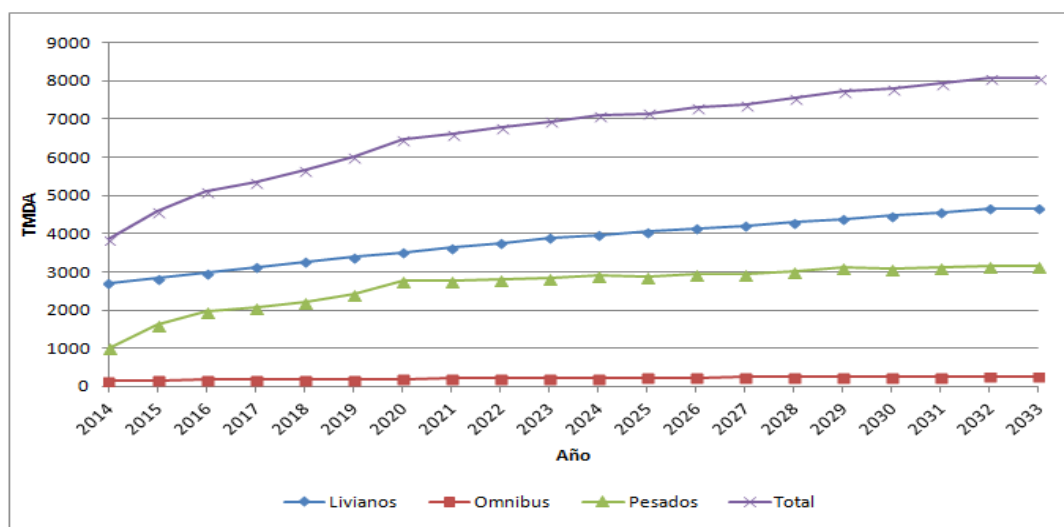


Fig. 4. Evolución del TMDA para la categoría 1



Esto expresado en Número de ejes equivalentes de 18.000 lbs (8.2t) durante la vida útil analizada (15 años) representará para cada categoría de tránsito:

Categoría 1: 23.500.000 ejes y

Categoría 2: 11.750.000 ejes.

### **Pavimentos**

Se proyectaron pavimentos flexibles con el método AASHTO 93 y el método de las heladas, según requerimiento de la Dirección Provincial de Vialidad del Neuquén.

La estructura de pavimento adoptada está compuesta por una carpeta de concreto asfáltico, una base de concreto asfáltico en caliente, una base granular anticongelante y una subbase granular drenante en todo el ancho del terraplén.

Para la Categoría 1 los espesores de diseño adoptados son:

- Carpeta de concreto asfáltico de 0,06m de espesor
- Base de concreto asfáltico en caliente de 0,10m de espesor
- Base granular anticongelante de 0,20m de espesor
- Subbase granular drenante de 0,20m de espesor

En cuanto a la categoría 2 los espesores de diseño son:

- Carpeta de concreto asfáltico de 0,06m
- Base de concreto asfáltico de 0,07m de espesor
- Base granular anticongelante de 0,20m de espesor
- Subbase granular drenante de 0,20m de espesor

### **UNIDADES GEOLÓGICAS EN EL SECTOR DE BARDAS**

En los estudios de las formaciones geológicas sobre las que se emplaza el sistema de intercomunicaciones viales en los alrededores de Añelo correspondiente a las RP N° 7 y N° 17, participa la Formación Candeleros del Grupo Neuquén, Subgrupo Río Limay como unidad más antigua, de edad cenomaniana, del Cretácico Superior.

Sobre esta unidad yacen en discordancia los depósitos cuaternarios de rodados, grava y arena, parcialmente cementados por carbonato, bien desarrollados en el tramo correspondiente a la RP N° 17 dentro del sector de trabajos.

Con referencia particular a la estratigrafía de la región en la que se ubica el sector de estudios, Garrido (2010) desarrolló extensamente el análisis estratigráfico del Grupo Neuquén en la Cuenca Neuquina con una nueva propuesta sobre ordenamiento litoestratigráfico. La comarca ha sido tratada también en la Hoja Geológica 3969-II, Neuquén a escala 1:250.000 de Rodríguez, Leanza y Salvarredi Aranguren (2007).

Sobre la base de esta información se incluye a los afloramientos del Grupo Neuquén en la comarca considerada como parte de la Formación Candeleros, cuyas características litológicas son coincidentes en rasgos generales con las descripciones realizadas entre otros, por Garrido (2010).

Su litología se compone en formas predominantes por areniscas cuarzo líticas finas a gruesas, con granos subangulosos a subredondeados y moderada a buena selección. La presencia de abundante matriz fangosa en estos depósitos psamíticos determina, en gran medida, su típica coloración rojiza morada. En partes de la cuenca donde la matriz tiene menor participación, la Formación Candeleros tiene tonalidades rojizas más claras.

En el sector aquí considerado la alternancia de bancos más competentes de areniscas cuarzo líticas finas de espesores métricos entre estratos de espesor decamétrico de pelitas arenosas y disposición subhorizontal con leve inclinación hacia el naciente, genera localmente un paisaje en gradería, donde los bancos más resistentes a la intemperización sobresalen en el relieve local de la barda (Fig. 5 y 6).



Fig. 5. Sector de barda en la porción oriental del tramo de proyecto. Alternancia de bancos de areniscas y pelitas arenosas.



Fig. 6. Sector de barda en el tramo occidental del proyecto, predominio de bancos de pelitas arenosas.



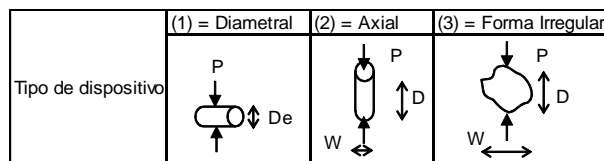




Fig. 8. Ensayo de carga puntual sobre un fragmento de roca representativo, zona de contratalud de la Ruta Provincial N° 7

A continuación se presenta la planilla resumen de ensayos de carga puntual para las distintas progresivas de la Ruta Provincial N°7:

| Muestra N° | Ruta   | Prog. (m) | Tipo de Roca                  | Tipo de Dispositivo | W (cm) | D (cm) | A (cm <sup>2</sup> ) | De <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> ) | P (kg) | Is = P/De <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> ) | f=(De/5) <sup>0,45</sup> | Is (50) (kg/cm <sup>2</sup> ) | Is (50) (MPa) | Resistencia compresión estimada qu=Is*23 (kg/cm <sup>2</sup> ) | Obs.                      |
|------------|--------|-----------|-------------------------------|---------------------|--------|--------|----------------------|------------------------------------|--------|--|--------------------------|-------------------------------|---------------|--|---------------------------|
| 1          | RPN°7  | 3000      | Arenisca de grano fino rojiza | 3                   | 5,0    | 6,5    | 32,5                 | 41,38                              | 209,0  | 5,05   | 1,13                     | 5,68                          | 0,57          | <b>130,7</b>   |                           |
| 2          | RPN°17 | 5500      | Caliche                       | 3                   | 5,5    | 7,5    | 41,3                 | 52,52                              | 520,0  | 9,90   | 1,18                     | 11,70                         | 1,17          | <b>269,1</b>   | No rompió                 |
| 3          | RPN°7  | 6750      | Arenisca de grano fino rojiza | 3                   | 5,0    | 6,0    | 30,0                 | 38,20                              | 300,0  | 7,85   | 1,10                     | 8,64                          | 0,86          | <b>198,7</b>   |                           |
| 4          | RPN°7  | 7750      | Arenisca de grano fino rojiza | 3                   | 6,0    | 6,5    | 39,0                 | 49,66                              | 80,0   | 1,61   | 1,17                     | 1,88                          | 0,19          | <b>43,2</b>  | Rompió por discontinuidad |
| 5          | RPN°7  | 8200      | Arenisca de grano fino rojiza | 3                   | 5,5    | 5,5    | 30,3                 | 38,52                              | 110,0  | 2,86   | 1,10                     | 3,15                          | 0,31          | <b>72,4</b>  |                           |
| 6          | RPN°7  | 10750     | Arenisca de grano fino rojiza | 3                   | 5,0    | 6,5    | 32,5                 | 42,25                              | 60,0   | 1,42   | 1,13                     | 1,60                          | 0,16          | <b>36,8</b>  | Rompió por discontinuidad |
| 7          | RPN°7  | 11150     | Arenisca de grano fino rojiza | 3                   | 5,5    | 6,0    | 33,0                 | 42,02                              | 500,0  | 11,90  | 1,12                     | 13,37                         | 1,34          | <b>307,6</b>   |                           |
| 8          | RPN°7  | 13000     | Arenisca de grano fino rojiza | 3                   | 5,0    | 7,0    | 35,0                 | 44,56                              | 50,0   | 1,12   | 1,14                     | 1,28                          | 0,13          | <b>29,4</b>  | Rompió por discontinuidad |
| 9          | RPN°7  | 14000     | Arenisca de grano fino rojiza | 3                   | 6,0    | 6,5    | 39,0                 | 49,66                              | 170,0  | 3,42   | 1,17                     | 4,00                          | 0,40          | <b>91,9</b>  |                           |
| 10         | RPN°7  | 14500     | Arenisca de grano fino rojiza | 3                   | 3,5    | 7,0    | 24,5                 | 31,19                              | 190,0  | 6,09   | 1,05                     | 6,40                          | 0,64          | <b>147,2</b>   |                           |



La resistencia a la compresión se estimó a través de:

$$q_u = I_s * 23 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde:

Is: índice de carga puntual

La excavabilidad se define como la facilidad que presenta un terreno para ser excavado.

La correcta elección de los métodos de excavación de las rocas, en función de las condiciones concretas del macizo rocoso, constituye un aspecto esencial que garantiza el éxito de dicho proceso. De ahí la necesidad de realizar estudios que permitan argumentar de forma científico-técnica y económicamente factible su empleo, pudiendo esto ahorrar miles de pesos por concepto de gastos de explosivos y servicios, por ello el objetivo es elegir el método más racional de excavación de las rocas.

El método mecánico de excavación del macizo rocoso para la conformación de los contratantes de la Ruta Provincia N° 7 se estableció a través del gráfico de "Clasificación de rocas según su excavabilidad de Franklin (1974). Teniendo en cuenta que el índice de carga puntual varía entre 0,13 (rompiendo algunas por discontinuidad) y 1,34, y el espaciado de discontinuidades entre 0,2m y 0,6m (estimado en forma visual en el campo), se definió una zona en el gráfico (ver fig. 9), para la cual, en general, el macizo rocoso es clasificado según su excavación como escarificable. Por lo tanto, para la excavación del mismo será necesario el uso de escarificador, martillo percutor o equipamiento similar.

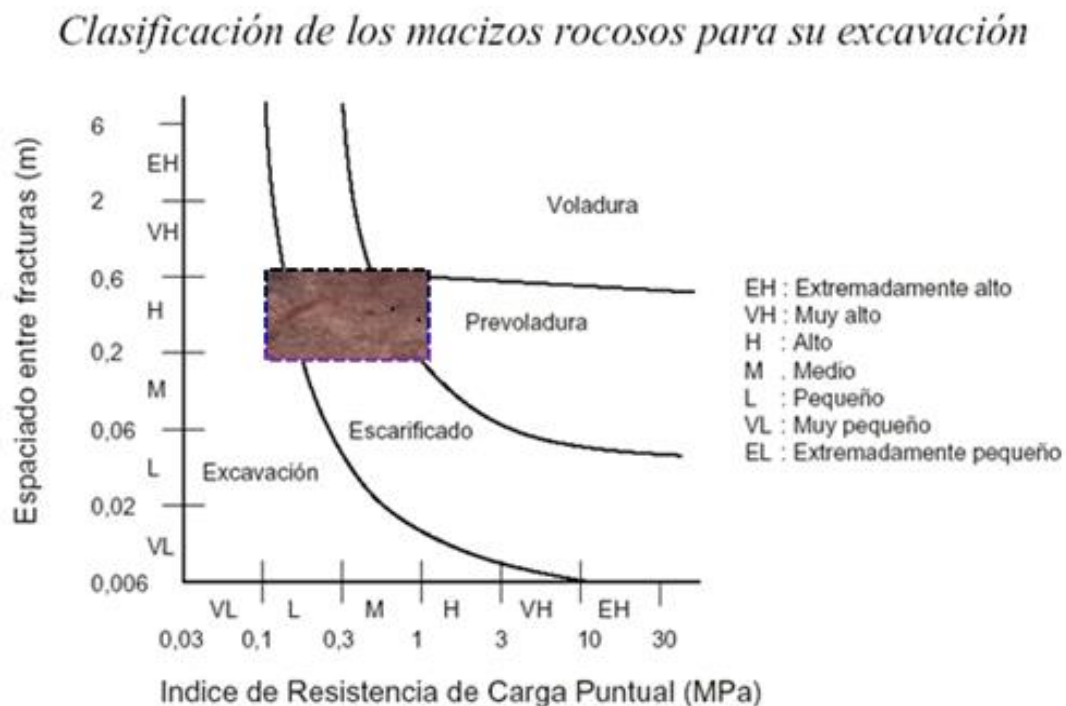


Fig. 9. Clasificación de macizos rocosos para su excavación. Franklin 1974

Con el uso del gráfico de Pettifer y Fookes (1994) dan valores similares de excavación dura a escarificado entre fácil y duro (ver Fig. 10).

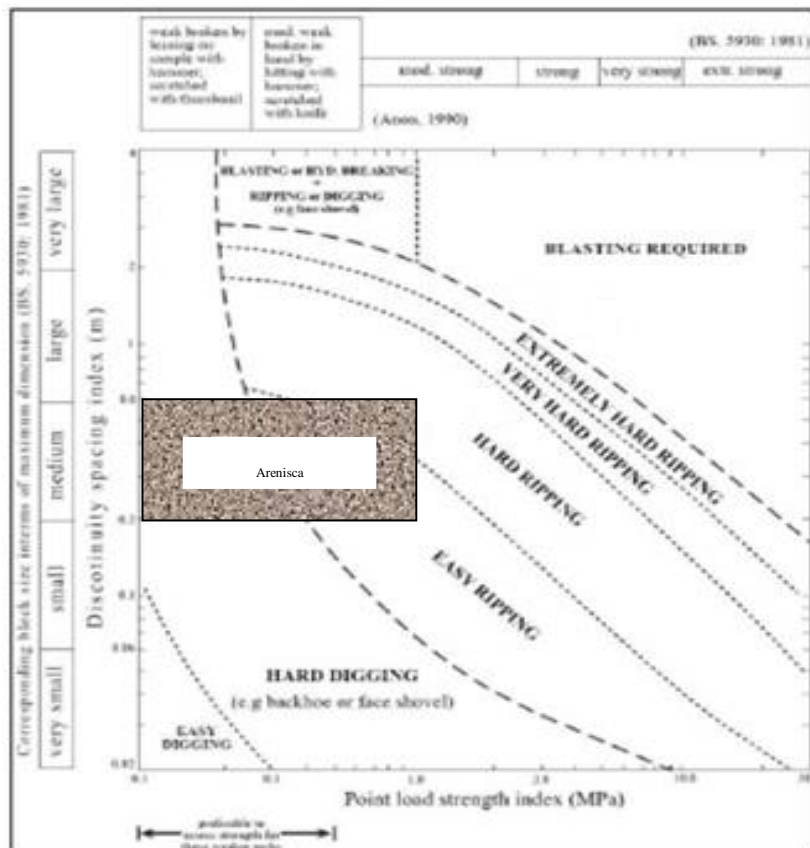


Fig. 10. Clasificación de macizos rocosos para su excavación. Pettifer y Fookes (1994)

### **Estabilidad de contrataludes en roca**

Se realizó la evaluación de la estabilidad global al deslizamiento de los contrataludes en roca de la Ruta Provincial N° 7, en función de los perfiles transversales de las secciones donde se ejecutarán cortes de contrataludes en roca y se identificaron los más críticos desde el punto de vista de la estabilidad de taludes, ubicados en las progresivas 4.750m y 4.850m.

La estratigrafía en correspondencia con estas secciones se encuentra conformada, en general, por mantos de rocas débiles limoarcilíticas (bancos relativamente más débiles) entre estratos más competentes de arenisca limolítica (bancos duros) estratificados en disposición subhorizontal.

Luego, a partir, de observaciones en el campo de las condiciones del macizo rocoso y ensayos sobre los fragmentos de roca extraídos, representativos de los bancos duros, se estimaron los parámetros geotécnicos del mismo, a través de la "Clasificación geomecánica de macizos rocosos fisurados RMR" de Bieniawsky. Para la determinación del índice de calidad RMR del macizo rocoso se definieron los siguientes parámetros:

- Resistencia a la compresión simple de la roca: En función del ensayo de carga puntual se estimó la resistencia a compresión simple de la roca, variando la misma entre 5 y 25 MPa.
- El RQD (Rock Quality Design): sobre la base de observaciones geológicas realizadas en el campo se estimó un posible RQD variable entre 25 a 50%.

- Separación entre diaclasas: se estimó en forma visual en el campo una separación variable entre 0,2m y 0,6m.
- Características de las discontinuidades: mediante la observación en el campo se adoptó que las mismas son de superficie algo rugosa, separadas < 1mm y paredes levemente alteradas.
- Agua Subterránea: se adoptó una condición húmeda como condición más desfavorable.
- Corrección por orientación de discontinuidades: a través de la observación en campo se consideró que la orientación e inclinación de las discontinuidades, es favorable.

Con los valores adoptados se determinó un índice de calidad RMR de 50, lo que resulta según el método en un macizo clase 3 - Regular, ( $200 < C < 300$  kPa,  $25^\circ < \phi < 35^\circ$ ), definiéndose los siguientes parámetros geotécnicos para el macizo rocoso en función de los bancos duros:

- Cohesión (c):  $250 \text{ kPa} = 2.5 \text{ kg/cm}^2$
- Fricción ( $\phi$ ):  $30^\circ$

A continuación se presenta la Clasificación Geomecánica de Macizos Rocosos Fisurados RMR de Bieniawsky (Figura 11):

| A - CLASIFICACION DE LOS PARAMETROS Y SU EVALUACION:           |   |   |  |  |   |  |   |
|--|---|---|--|--|---|--|---|
| PARAMETRO  |   | ESCALA DE VALORES                                 |  |  |   |  |   |
| 1  | RESISTENCIA DE LA ROCA INALTERADA                           | Indice de la carga de punta                       | > 10 Mpa   | 4 - 10 Mpa   | 2 - 4 Mpa   | 1 - 2 Mpa  | Para esta escala tan baja se prefiere la prueba de la resist. a la comp. Uniaxial |
|  | VALUACION   | Resistencia a la comp. uniaxial                   | > 250 Mpa  | 100-250 Mpa  | 50-100 Mpa  | 25-50 Mpa  | 5-25 Mpa, 1-5 Mpa, < 1 Mpa  |
| 2  | RGD   |   | 90 - 100 %   | 75 - 90 %  | 50 - 75 %   | 25 - 50 %  | < 25 %  |
| 3  | ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES                       |   | > 2,0 m  | 0,6 - 2,0 m  | 0,2 - 0,5 m   | 0,06 - 0,2 m   | < 0,06 m  |
| 4  | CARACTERISTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES                     |   | Sup. muy rugosa, sin separación ni paredes de la roca alterada | Sup. algo rugosa, separada < 1 mm y paredes suavemente alteradas | Sup. algo rugosa, separada < 1 mm y paredes altamente alteradas | Sup. pulidas o relleno < 5 mm de espesor o fisuras abiertas 1-5 mm y continuas | Relleno blando > 5 mm de espesor o fisuras abiertas > 5 mm y continuas            |
| 5  | AGUA SUBTERRANEA  | Infiltración en 10 m de túnel (l/min)             | Ninguna  | < 10   | 10 - 25   | 25 - 125   | > 125   |
|  |   | Presión del agua en la fisura                     | Relación Esfuerzo mayor ó principal                            | 0,0 - 0,1  | 0,1 - 0,2   | 0,2 - 0,5  | > 0,5   |
|  |   | Situación general                                 | Completamente seco   | Húmedo   | Mojado  | Goteando gota a gota   | Descarga continua   |
|  | VALUACION   |   | 15   | 10   | 7   | 4  | 0   |
| B - AJUSTE EN LA EVALUACION POR LA ORIENTACION DE LAS FISURAS: |   |   |  |  |   |  |   |
| 6  | ORIENTACION E INCLINACION DE LAS DISCONTINUIDADES           | Muy Favorable                                     | Favorable  | Regular  | Desfavorable  | Muy Desfavorable   |   |
|  | VALUACION   | Túneles   | 0  | -2   | -5  | -10  | -12   |
|  |   | Fundaciones                                       | 0  | -2   | -7  | -15  | -25   |
|  |   | Taludes   | 0  | -5   | -25   | -50  | -60   |
| C - CLASIFICACION DE LAS ROCAS SEGUN EL TOTAL DE LA VALUACION: |   |   |  |  |   |  |   |
|  | VALUACION   | 100 - 81  | 80 - 61  | 60 - 41  | 40 - 21   | < 21   | 50  |
|  | CLASE Nº  | 1   | 2  | 3  | 4   | 5  | 3   |
|  | DESCRIPCION   | MUY BUENA   | BUENA  | REGULAR  | MALA  | MUY MALA   | REGULAR   |
| D - SIGNIFICADO DE LA CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO:         |   |   |  |  |   |  |   |
|  | CLASE Nº  | 1   | 2  | 3  | 4   | 5  |   |
|  | Promedio del tiempo de autoapoye de la roca (Stand-up time) | 10 Años por 15 m de distancia no soportada (Span) | 6 meses para 8 m de distancia no soportada                     | 1 semana para 5 m de dist. no soportada (Span)                   | 10 horas para 2,5 m de dist. no soportada (Span)                | 30 minutos para 1 m de distancia no soportada (Span)                           |   |
|  | Cohesión del macizo rocoso                                  | > 400 Kpa   | 300-400 Kpa  | 200-300 Kpa  | 100-200 Kpa   | < 100 Kpa  | Adoptado  |
|  | Angulo de fricción de la roca                               | > 45°   | 45 - 35°   | 35 - 25°   | 25 - 15°  | < 15°  | c (kg/cm <sup>2</sup> ) = 2,5<br>φ (°) = 30,0                                     |

Fig. 11. Clasificación Geomecánica de Macizos Rocosos Fisurados RMR de Bieniawsky



Sobre la base de las observaciones geológicas realizadas en campo y la descripción geológica, se adoptaron para los bancos débiles de los contrataludes una cohesión del 50% a la correspondiente a los bancos duros ( $0.5 \cdot 2.5 \text{ kg/cm}^2 = 1.25 \text{ kg/cm}^2 = 125 \text{ kPa}$ ) y una fricción  $\phi = 25^\circ$ .

Finalmente, en función de la geometría y la conformación estratigráfica de los contrataludes más críticos se definieron los modelos para el análisis de la estabilidad global del macizo. El análisis de estabilidad al deslizamiento se realizó mediante la aplicación del software STABL for Windows, reflejando los siguientes resultados. (Ver figuras 12 y 13):

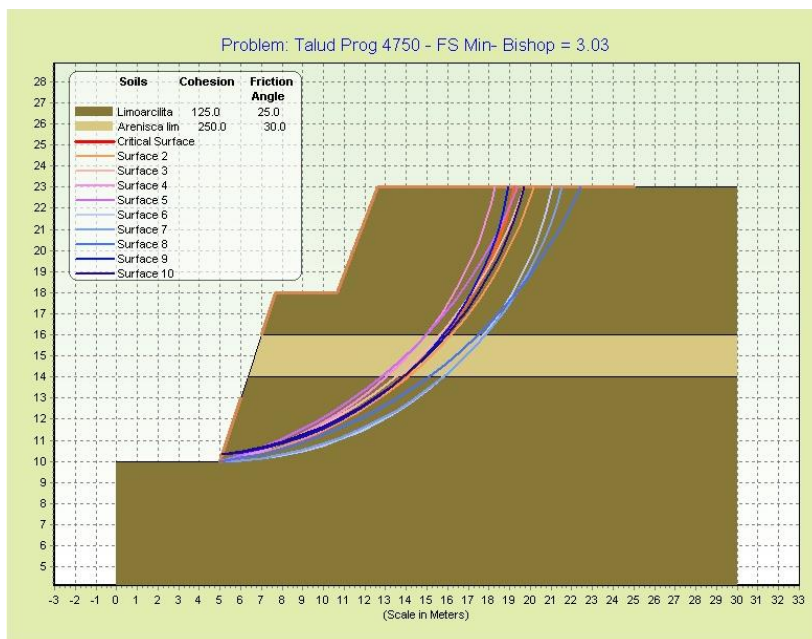


Fig. 12. Análisis de estabilidad global de contratalud – progresiva 4.750m

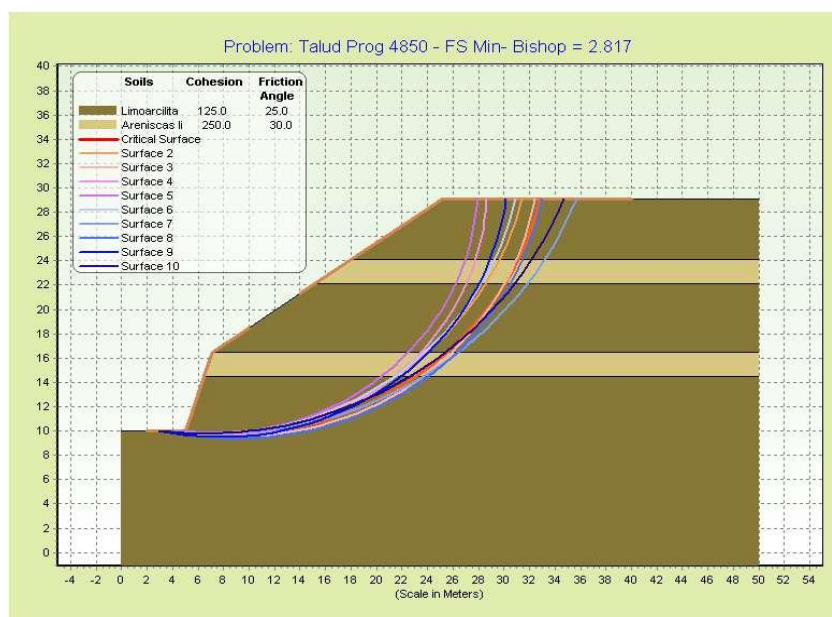


Fig. 13. Análisis de estabilidad global de contratalud – progresiva 4.850m

Como se observa en las figuras 12 y 13 los coeficientes de seguridad obtenidos son  $F_s=3,03$  para el contratalud de progresiva 4.750m y  $F_s=2,817$  para contratalud de progresiva 4.850m. En ambos casos, los coeficientes de seguridad son mayores al mínimo admisible indicado para contrataludes permanentes de  $F_s=1,5$ , por tal motivo verifican y resultan adecuados desde el punto de vista de la estabilidad global.

Debido a que la traza de la Ruta Provincial N° 7 se encuentra, según el INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica), en una zona con una peligrosidad sísmica reducida (Ver figura 14), se realizó un análisis de estabilidad global teniendo en cuenta una aceleración máxima del suelo de 0,1g (aceleración de la gravedad). Esto provoca una reducción del coeficiente de seguridad del contratalud de progresiva 4.750m a  $F_s=2,873$  y de progresiva 4.850m a  $F_s=2,54$ , siendo los mismos superiores al mínimo admisible ( $F_s=1.1$ ), por lo que ambos contrataludes verifican y son adecuados desde el punto de vista de la estabilidad global, aún en presencia de sismo.

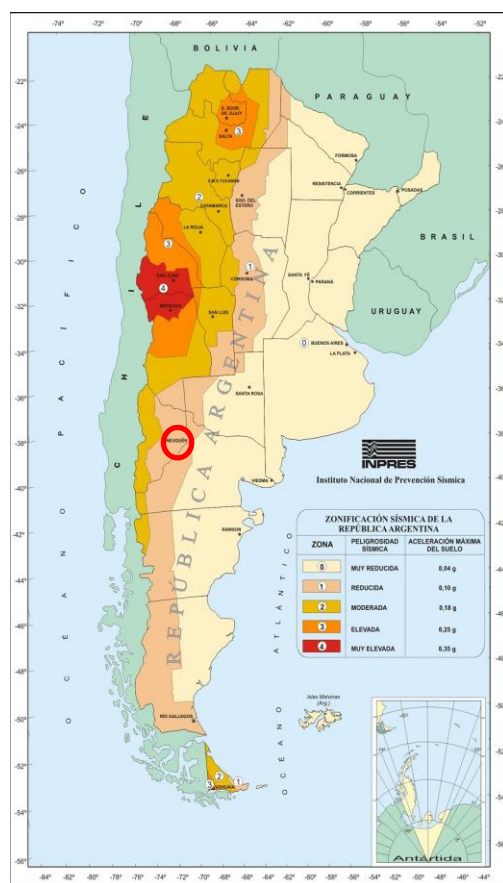


Fig. 14. Ubicación del sector estudiado en el Mapa de Zonificación Sísmica. Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES)

A su vez, se realizó un análisis de estabilidad global de uno de los taludes teniendo en cuenta la presencia de discontinuidades verticales e inclinadas con buzamiento desde una posible grieta hacia el pie del talud y posibles sobrecargas actuando en el coronamiento del talud. En este análisis se disminuyó la cohesión del manto blando de 125kPa (1,25kg/cm<sup>2</sup>) a

30kPa (0,30kg/cm<sup>2</sup>), considerando la meteorización en el tiempo del macizo rocoso y se consideró una sobrecarga de 40kN/m<sup>2</sup> aplicada en 4m de ancho.

Estas condiciones provocaron una reducción del coeficiente de seguridad a FS = 1.53, siendo el mismo superior al mínimo admisible (Fs=1.5), por lo tanto se concluye que los contrataludes tendrán un comportamiento adecuado, aún en presencia de discontinuidades y sobrecargas (ver figura 15).

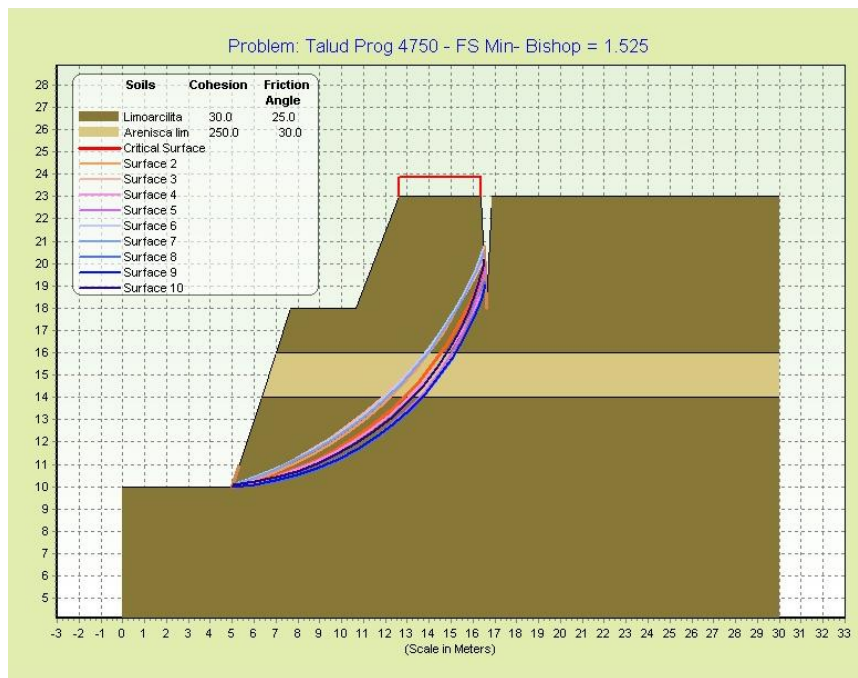


Fig. 15. Análisis de estabilidad global de contratalud con presencia de discontinuidad vertical y sobrecarga – Progresiva 4750m

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que la aplicación de distintos estudios geológicas y geotécnicos, como relevamiento de campo, toma de muestras representativas, tareas y ensayos de campo y laboratorio y tareas de gabinete permitieron definir los métodos mecánicos de excavación y las pendientes de los contrataludes que serán excavados en roca, por lo cual se recomienda su empleo sistemático en las tareas de diseño de caminos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA, 2014. Requerimientos para el desarrollo del reservorio de Vaca Muerta (Neuquén/Argentina)
- BIENIAWSKI Z.T., 1975. The point load test in geotechnical practice. Eng. Geol., 9: 1-11.
- BIENIAWSKI Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Wiley, New York, p. 238.
- FRANKLIN J.A., BROCH E., WALTON G., 1971. Logging the mechanical character of rock. Transactions of the Institut. Min. Metallurgy. 80: A1-9.

GARRIDO, A. C., 2010. Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico. *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat. N.S.*, 12(2): 121-177, Buenos Aires.

PETTIFER G.S., FOOKES P.G., 1994. A revision of the graphical method for assessing the excavatability of rock. *Quart. J. Eng. Geol.*, 27: 145-164.

RODRÍGUEZ, M.F., H.A. LEANZA y M. SALVARREDY ARANGUREN, 2007. Hoja Geológica 3969-II, Neuquén, provincias del Neuquén, Río Negro y La Pampa. Instituto del Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 370, 165 pp. Buenos Aires.