

SÍSMICA DE REFLEXIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS. SEISMIC REFLECTION STUDY FOR MASSIFS ROCK CHARACTERITATION.

Autores: F. Merchán Álvarez⁽¹⁾, J.A. Canas Torres⁽²⁾, Ll. Pujades Beneit⁽³⁾

Procedencia: (1) ORELLANA CONSULTORES S.A., (2) INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL, (3)U.P.C.,E.T.S.I.C.C.P.

SUMMARY: *This paper shows how a high resolution seismic reflection study can obtain a very good characteritaton of the geomecanics and the quality of the rock in massifs.*

INTRODUCCIÓN.

La caracterización de un macizo rocoso es una tarea fundamental para la Geotecnia a la hora de cuantificar la bondad de los materiales en aras a planificar la realización de obras profundas, así, por ejemplo, es fundamental definir el sostenimiento de un túnel a la hora de la valoración económica de su ejecución; y la definición de dicho sostenimiento se realiza, generalmente, a partir de los datos de la geología de campo, de los datos puntuales obtenidos con sondeos mecánicos y de la extrapolación a profundidad de las observaciones geológicas de superficie apoyadas por los datos obtenidos con los sondeos mecánicos.

Es aquí donde la Geofísica puede suponer una importante herramienta de trabajo, al permitir la obtención de ciertos parámetros geofísicos, que están íntimamente relacionados con la calidad geomecánica de las rocas, con mediciones desde superficie y suponiendo un considerable ahorro económico en las investigaciones. En el caso que nos ocupa, la caracterización de macizos rocosos se realiza en base a la velocidad de propagación de las ondas sísmicas.

En nuestro caso, vamos a presentar un estudio realizado mediante **Sísmica de Reflexión de alta resolución**, para la caracterización geomecánica del macizo rocoso que debía atravesar el Túnel Derecho de La Canda. Dicho estudio se realizó a petición de PADORCAN U.T.E., constructora que realizó el Tramo Requejo-Villavieja de la AUTOVÍA DE LAS RIAS BAJAS, dentro del nuevo plan de accesos a Galicia.

El perfil de reflexión se realizó entre los PP.KK. 111+640 y 112+105, lo que supone una longitud de tramo estudiado de 465 m. En los gráficos que se presentan a continuación el cero de distancias coincide con la traza 94 del perfil y el P.K. 111+640.

METODOLOGIA DE INVESTIGACION.

Se realizó un perfil de sísmica de reflexión de alta resolución longitudinal a la traza, y de las siguientes características: cobertura 12, una intertraza en superficie de 5 m, una longitud de registro de 0,5 s, un muestreo de 0.250 ms, un offset de 2,5 y 5 m con tiros en avance y retroceso, geófonos de alta frecuencia, etc. Este tipo de dispositivo origina una subsuperficie de reflexión con una intertraza de 1.25 m.

Una vez registrado el perfil se procesó con el paquete de software ProMax de Advance Geophysical Corporation, utilizando las mismas técnicas de procesado que se emplean en la exploración de hidrocarburos. El procesado ha consistido en:

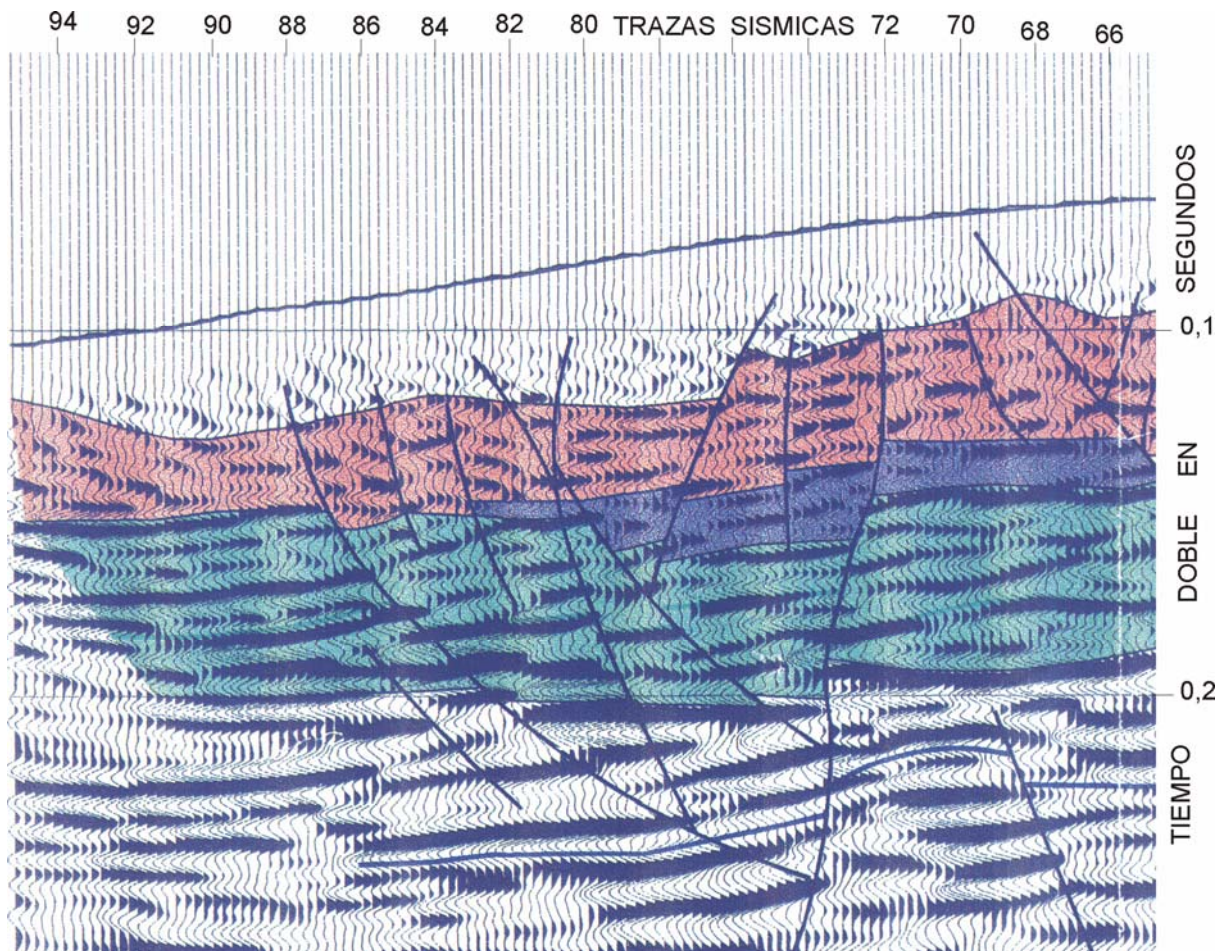


Figura 1. Sección Migrada con su interpretación. Trazas 93 a 66.

- a) Edición (control de calidad de cada registro de campo).
- b) Preprocesado: En este paso se realiza la explotación de la refracción superficial empleando extendimientos de distintas posiciones de registro, solapadas entre ellas para definir con mayor precisión las capas superficiales y poder realizar unas correcciones estáticas de alta resolución.
- c) Recuperación de amplitudes (recuperación de los verdaderos valores de la amplitud).
- d) Escalado variable en el tiempo: Una vez obtenidos los valores de la amplitud, se escalan en el tiempo para que los resultados aparezcan homogéneos a lo largo de la sección.
- e) Análisis de frecuencias (análisis de los datos en F y K).
- f) Filtro F/K: Aplicación al dominio del tiro para la eliminación de ruidos.
- g) Mejora de la relación señal/ruido.
- h) Filtro pasabanda a los registros individuales antes de ser sumados por punto espejo.
- i) Deconvolución, para eliminar la reverberación mediante un operador de blanqueo.
- j) Análisis de velocidad, se realizan 8 análisis de velocidad C.V.S..
- k) Correcciones estáticas, se aplican las correcciones estáticas obtenidas de la explotación de la refracción.

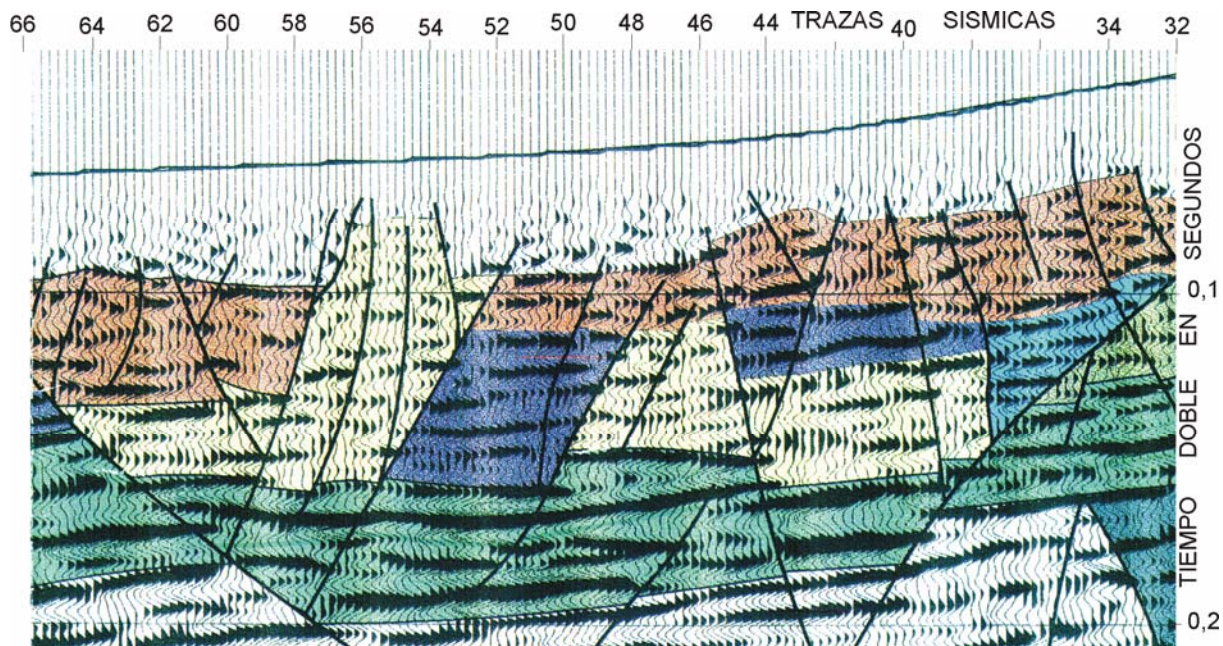


Figura 2.Sección Migrada con su interpretación. Trazas 66 a 32.

- l) De los procesos h) i), j) se realizan varias iteraciones.
- m) Correcciones dinámicas (NMO) y mute, se aplican las correcciones dinámicas calculadas de los análisis de velocidad y se aplican los “mute” para eliminar las llegadas refractadas y de superficie.
- n) Suma de las trazas agrupadas en posición espejo.
- o) Mejora de la relación señal/ruido.
- p) Aplicación de un filtro variable en el tiempo para mejorar la relación señal/ruido.
- q) Obtención de la sección stack correspondiente.
- r) Aplicación de una migración en diferencias finitas a la sección stack.
- s) Utilización de un filtro variable en el tiempo para mejorar la relación señal/ruido.
- t) Ploteado de las secciones migradas.

RESULTADOS.

En la figuras 1, 2 y 3 se muestra la sección migrada obtenida como resultado final del procesado descrito y sobre la que se ha plasmado la interpretación.

La interpretación se ha realizado sobre los siguientes aspectos:

- A) Definición de los horizontes sísmicos de reflexión principales en base a la similitud de su carácter sísmico (intensidad de reflexión, frecuencia, continuidad espacial, etc.).
- B) Definición de las distintas “facies sísmicas” en los diferentes paquetes (transparencia, nivel de “ruido”, estilo de las reflexiones, etc.).

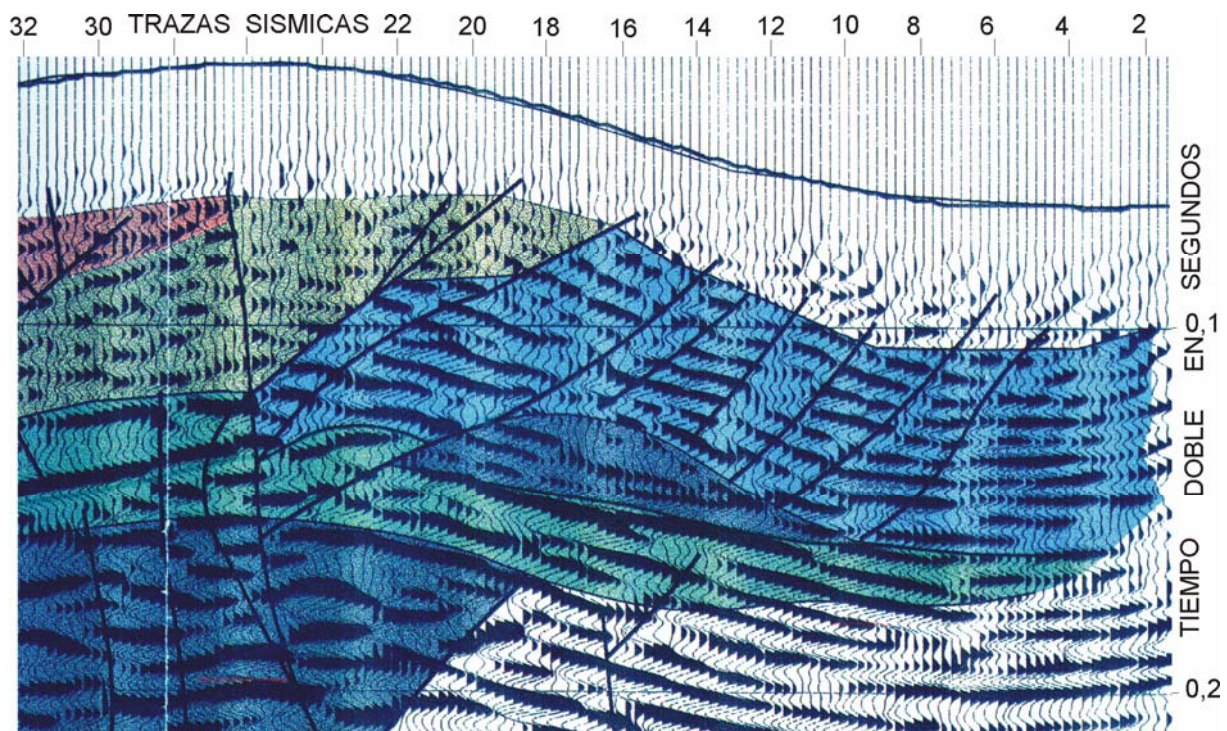


Figura 3. Sección Migrada con su interpretación. Trazas 32 a 1.

C) Trazado de las fallas que afectan al conjunto a partir de los saltos de continuidad en las reflexiones. En este caso muchas fallas vienen definidas por la clara “compartimentación” de la sección en bloques de diferente “carácter sísmico”.

En base a estos criterios se ha obtenido la siguiente interpretación:

Zona 1): Aparece como una zona semitransparente formada por reflexiones de alta frecuencia y discontinuas, lo que puede ser representativo de un alto índice de fracturación. Velocidad de capa 2200 m/s.

Zona 4): Se detecta como una zona de reflexiones continuas y frecuencias medias lo que indicaría una cierta continuidad y homogeneidad dentro de la formación con una fracturación media. Velocidad de capa 2800 m/s.

Zona 2): Aparece como una zona transparente y sin reflexiones con una distribución anárquica y caótica de la continuidad espacial y de las demás características que conforman su “carácter sísmico”, lo que indicaría que nos encontramos con materiales fuertemente alterados. Velocidad de capa 2300 y 2600 m/s.

Zona 5): Zona con reflexiones de alta frecuencia y continuas, lo que indicaría una roca que si bien está fracturada presenta una cierta continuidad. Velocidad de capa 2600 m/s.

Zona 3): Presenta reflexiones de gran continuidad, baja frecuencia y reflexiones curvadas, lo que indicaría la presencia de accidentes subhorizontales y materiales replegados. Velocidad de capa comprendida entre 2400 y 3500 m/s.

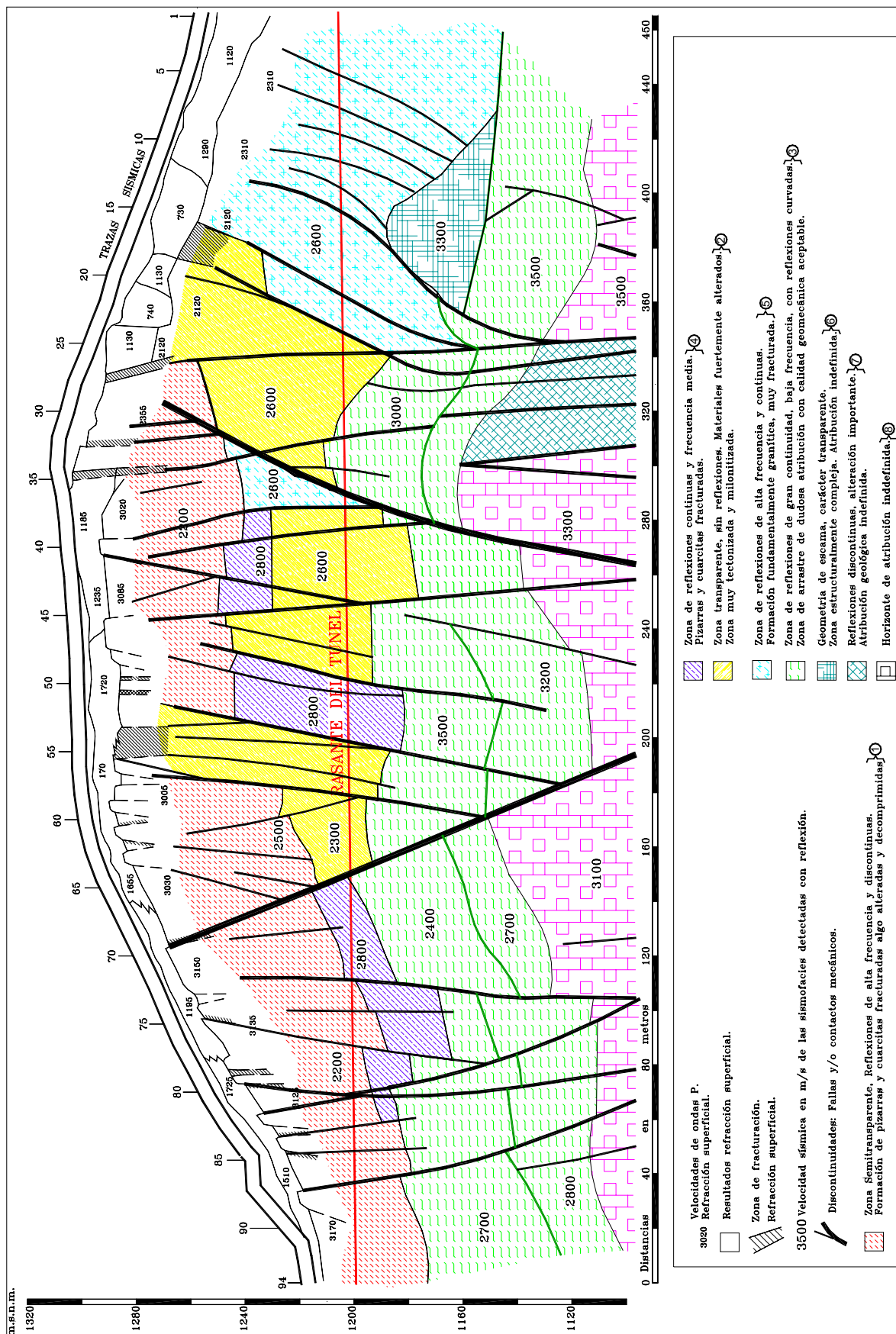


Figura 4. Corte Geológico Geofísico obtenido.

Zonas 6 y 7). Presenta una geometría de escama y carácter transparente en un caso, y reflexiones discontinuas y propias de una formación fuertemente alterada en el otro. Velocidad de capa 3500 m/s.

La zona 8 representa el fondo acústico de la sección y es de atribución litológica indefinida.

La transformación de esta sección a profundidades a dado lugar al corte que aparece representado en la figura 2, en el que pueden observarse los distintos materiales que atraviesa la traza del túnel, constituidos fundamentalmente por pizarras y cuarcitas, por un lado, y granitos por otro, la red de fallas que afectan al macizo, y las distintas velocidades de capa que presentan las formaciones atravesada.

Una vez finalizada la excavación del túnel se trabajó con los datos aportados por las fichas técnicas de los avances realizados durante la obra, así como toda la documentación aportada por la U.T.E. INTGEO (Intecsa-Geocisa, asistencia técnica de la obra), y a quien debemos agradecer la colaboración que nos a prestado a la hora de proporcionarnos cuanta información técnica se le ha requerido a cerca de los resultados obtenidos en la excavación del túnel.

Con los valores del índice Q obtenido, se calcularon las velocidades sísmicas teóricas que se deberían obtener para dichos valores a lo largo de la traza del túnel, y se comparó dicho valor de velocidad con el obtenido mediante la sección sísmica de reflexión, calculándose a continuación el % de desviación entre ambos valores. Los valores utilizados han sufrido un ligero filtrado, que ha consistido únicamente en no considerar los valores de Q medidos en las zonas de falla detectadas con la sísmica de reflexión, ya que hubieran supuesto unos valores anómalos ya que en las zonas de fractura no se ha podido medir la velocidad sísmica.

Como podemos observar en la figura 3, la mayoría de los valores de la velocidad deducida a partir del valor del índice Q se encuentran situados en una variación del orden del $\pm 10\%$ con respecto a la velocidad sísmica medida con reflexión, salvo en puntos localizados donde las desviaciones pueden llegar a alcanzar valores medios de $\pm 20\%$ y solo dos valores, puntualmente, alcanzar desviaciones del 31 y 37%.

Las zonas donde se produce una mayor desviación entre ambos valores de la velocidad se situarían entre los metros 190-230, 305-340 con desviaciones medias del 20% y puntualmente de hasta el 38%, y, finalmente, del 350 al metro 465, donde la desviación media se mantiene casi constantemente en el 20% y localmente disminuye casi al 0%. Si analizamos las características de estas zonas podemos ver como en la sección ya se observa que los materiales se presentan como: una zona transparente y sin reflexiones con una distribución anárquica y caótica de la continuidad espacial y de las demás características que conforman su “carácter sísmico”, lo que indicaría que nos encontramos con materiales fuertemente alterados, para los dos primeros tramos, y una zona con reflexiones de alta

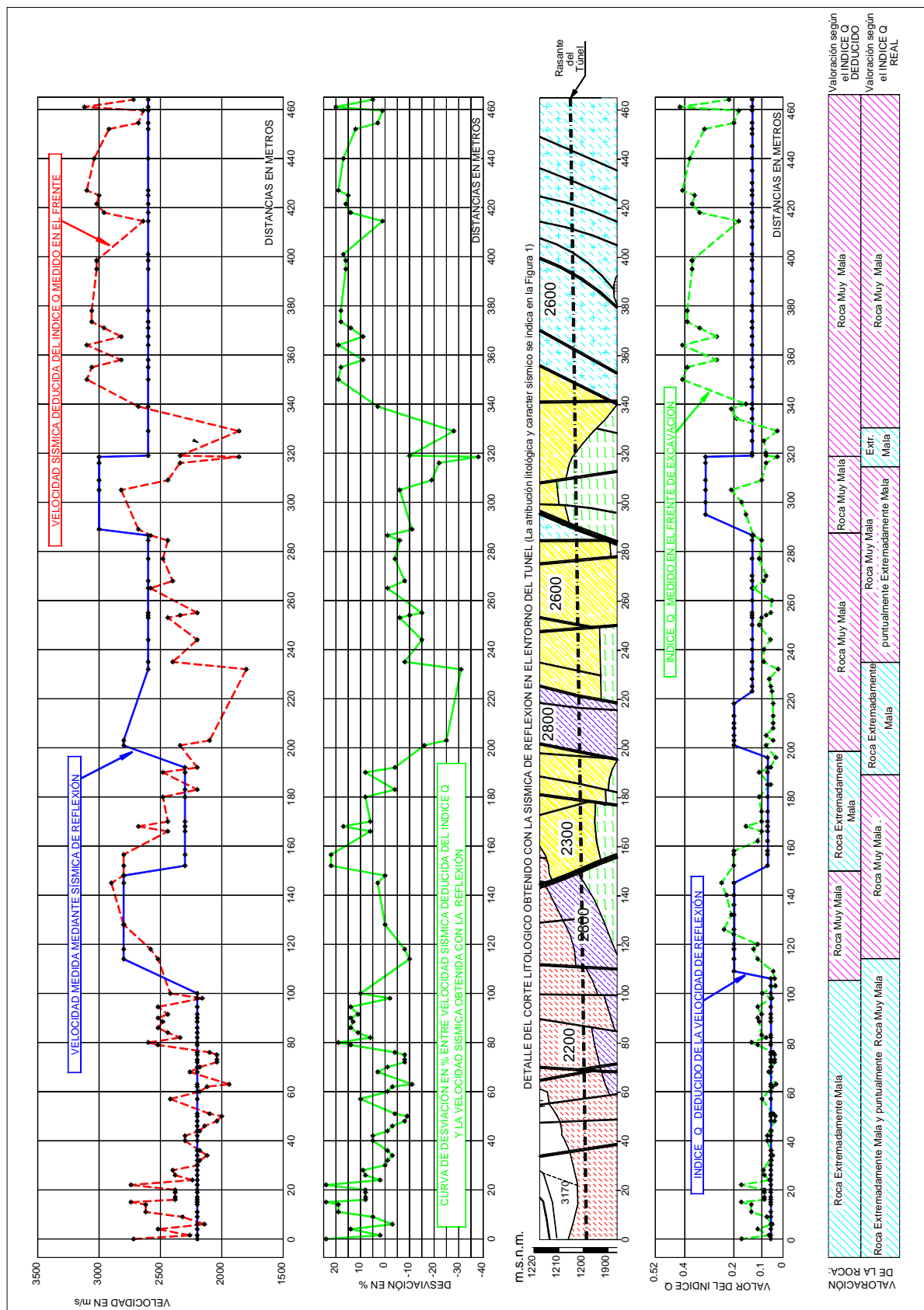


Figura 5. Relación: Índice Q Real - Velocidad sísmica obtenida con Reflexión.

frecuencia y continuas, lo que indicaría una roca que si bien está fracturada presenta una cierta continuidad, estas características nos indicarían que no es solamente la velocidad el único parámetro que está relacionado con las características geomecánicas de la roca, sino factores como la frecuencia y fase, la coherencia y continuidad espacial de la señal sísmica, etc. parámetros estos que si se logran cuantificar correctamente, permitirían ajustar, con diferencias inferiores o iguales al 10%, el valor de la velocidad sísmica medida en las secciones de reflexión y el valor del índice Q.

Es precisamente, en este sentido en el que en **Orellana Consultores SA** se ha abierto una línea de investigación tendente a lograr una modelización de la traza sísmica apoyándose en los datos aportados por los sondeos mecánicos, los parámetros sísmicos tales como frecuencia, fase, etc. y la velocidad sísmica, a fin de poder diferenciar zonas de mejor o peor calidad geomecánica dentro una misma sismofacie caracterizada por una o varias velocidades de capa. Este proceso se extendería a todas las sismofacies definidas en una sección sísmica de reflexión.

CONCLUSIONES.

De la exposición realizada en los párrafos anteriores podemos concluir que la **Sísmica de reflexión de alta resolución** permite caracterizar, con un error muy bajo, la calidad geomecánica de un macizo rocoso, esta afirmación se puede apreciar en los dos últimos gráficos reflejados en la figura 3; en uno de ellos podemos ver los gráficos correspondientes al valor de Q medido en los frentes de excavación y los valores de Q obtenidos a partir de la velocidad sísmica medida con la sísmica de reflexión, como se puede observar la diferencia entre ambos valores no hace que cambie, en líneas generales, la valoración de la calidad de la roca, situándose esta dentro de los mismos límites con alguna variación puntual de esa calificación.

Dado que el índice Q varía entre 0,001 y 1000, este intervalo de valores se ha dividido en 9 tramos que dan lugar a la siguiente clasificación cualitativa:

Roca excepcionalmente mala: entre 0,001 y 0,01

Roca extremadamente mala: entre 0,01 y 0,1

Roca muy mala: entre 0,1 y 1

Roca mala: entre 1 y 4

Roca media: entre 4 y 10

Roca buena: entre 10 y 40

Roca muy buena: entre 40 y 100

Roca extremadamente buena: entre 100 y 400

Roca excepcionalmente buena: entre 400 y 1000.

A la vista de esta clasificación observamos como la calidad de la roca obtenida a partir de la velocidad sísmica y la obtenida a partir del valor medido para el índice Q en los sucesivos frentes de excavación del túnel son fundamentalmente la misma.

BIBLIOGRAFIA.

- Les Vitesses en Sismique Reflexión, J.P. Cordier, Ed. Lavoisier, París, 1982.
- Exploration Seismology, Robert E. Sheriff and Lloyd P. Geldart, Ed. Cambridge University Press (NY-USA), 1995.
- Géophysique de gisement et de génie civil, Arens et Gaudiani, Editions Technip, Paris, 1998.
- Deconvolution of geophysical time series in the exploration for oil and natural gas, Manuel Silva and Enders Robinson, Editorial Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1979.
- The complex seismic trace made simple. Arthur E. Barnes, 1998, The Leading Edge, Vol 17, nº 4.
- Reflection Seismology a tool for energy resource exploration. Kenneth H. Waters. A Wiley-Interscience Publication. 1981.
- Interval velocities from Seismic Reflection time measurements. Peter Hubral & Theodor Krey. Edited by Kenneth L. Larner (Western Geophysical Company). Society of Exploration Geophysicists 1980.
- Norwegian Method of tunnelling, by Barton, Grimstad, Aas et al, 1992. World Tunnelling and Subsurface Excavation.
- Grimstad, E. and N. Barton, 1993, "Updating of the International Symposium on Sprayed Concrete-Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Fagernes, 1993 (Eds. Kompen. Norwegian Concrete Association, Oslo).
- Barton, N., R. Lien and J. Lunde, 1974, "Engineering Classification of Rock Mass for the Design of Tunnel Support". NGI Publication 106, Oslo. Rock Mechanics 6: nº 4.