

CRITERIOS CONCEPTUALES DEL ANALISIS GEOTECNICO DE MACIZOS ROCOSOS UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PRESA DE GRAVEDAD EN HORMIGÓN EN LA CUENCA DEL RAMAL H (TANDIL)

Giaconi, Luis M.*; Guichón, Martín E.*; Giordano, Ricardo E.*; Cumba, Andrea*.

* Cátedra de Geología Aplicada – FCNyM - UNLP

RESUMEN

La conceptualización básica de un estudio geotécnico en una presa de gravedad de hormigón en ejecución en la cuenca del ramal H, Tandil, Provincia de Buenos Aires, Argentina, comenzó con la determinación de las distintas zonas litoestructurales que integran el macizo rocoso bajo análisis.

Para cada una de las zonas litoestructurales identificadas se realizó posteriormente la determinación geotécnica de sus características mediante la obtención de los valores de resistencia, de deformabilidad e, indirectamente, de fracturación mediante los parámetros hidrogeológicos (permeabilidad y presión de agua intersticial) del macizo rocoso para su aplicación en a) la fundación, b) las tareas de excavación y c) los materiales de construcción.

En el presente trabajo se desarrolla la secuencia teórico-práctica utilizada para alcanzar la clasificación geomecánica que permite la sectorización necesaria para la ejecución de las obras.

ABSTRACT

The basic conceptualization of a study in geotechnical engineering, specifically in this case referred to a concrete gravity dam, begins with the identification of different litho-structural areas that integrate the solid rock under analysis.

For each of the litho-structural areas identified is made the determination of their geotechnical characteristics by obtaining the values of their resistance, deformability or strain, and the values of the hydrogeological parameters (permeability and pore water pressure) of the solid rock for their further application in the engineering tasks in respect of: a) foundation b) excavation work c) building materials

In this work a very brief synthesis is develop about the conceptual criteria for the evaluation of these characteristics through the application of geomechanical classifications.

1.- Resistencia del macizo rocoso

“La resistencia de los macizos rocosos es función de la resistencia de la matriz rocosa y de las discontinuidades (ambas extremadamente variables) y de las condiciones geoambientales a las que se encuentra sometido el macizo, como las tensiones naturales y las condiciones hidrogeológicas”. (González de Vallejo, 2003)

Ello implica entonces un grado de gran complejidad en la evaluación de la resistencia de los macizos rocosos pues se debe tener en cuenta la presencia de *“zonas tectonizadas, alteradas o de diferente composición litológica lo cual origina zonas de debilidad y anisotropía con diferentes comportamientos y características resistentes”.*

La resistencia del macizo rocoso queda expresada en términos de las propiedades resistentes que el mismo posea, cohesión C y ángulo de rozamiento interno \emptyset .

Así, según el grado de fracturación del macizo, su comportamiento y sus propiedades resistentes quedarán definidas por la resistencia de la matriz rocosa, tanto isótropa como anisótropa y por la resistencia al corte de una o mas familias de discontinuidades (2 ó 3) según sea su relación con los esfuerzos impuestos por la obra.

La determinación de la resistencia de la matriz rocosa o de una discontinuidad puede realizarse en laboratorio o in situ, pero las dimensiones y condiciones naturales de un macizo rocoso no se pueden reproducir en laboratorio, por lo que ante la dificultad (precio y tiempo necesarios) y baja representatividad de hacerlo in situ en superficies limitadas, es costumbre habitual hacerlo por métodos indirectos.

Existen varios procedimientos por vía indirecta. El más frecuente se basa en los índices de calidad que utilizan las principales clasificaciones geomecánicas.

De esta manera se estimará la resistencia del macizo rocoso en forma aproximada al identificar, en primer término, las zonas litoestructurales en que se integra el macizo para luego establecer correlaciones entre las clases de calidad de roca por ejemplo mediante el índice MRM (Bieniawsky, 1989) que permite preestimar los parámetros resistentes de salida C (cohesión) y ϕ (ángulo de fricción interna) del macizo rocoso.

Esta clasificación para la determinación de los parámetros resistentes característicos de los macizos rocosos, como todas las de carácter geomecánico, no consideran el comportamiento deformacional por lo que el MD (módulo de deformación genérico) del macizo rocoso se obtendrá mediante una correlación empírica, tal como se expone a continuación.

2.- Deformación del macizo rocoso

La deformación de un macizo rocoso se encuentra determinada por la relación que existe entre los esfuerzos aplicados y las deformaciones producidas y queda definida por su módulo de deformación, que relaciona la tensión o esfuerzo con la deformación correspondiente.

Al igual que la resistencia, la deformación de un macizo rocoso presenta un carácter anisótropo y discontinuo por lo que su determinación resulta también muy compleja. Depende de la deformación tanto de la matriz rocosa como de las discontinuidades, siendo que la de estas últimas siempre es mayor que la deformación de la matriz rocosa.

Los métodos para la evaluación de la deformación de macizos rocosos se dividen en directos e indirectos. Los primeros incluyen los ensayos in situ (placa de carga en excavaciones y galerías, gato plano sobre paredes de galerías y el dilatómetro en sondeos siendo este el único método para estimar la deformabilidad de los macizos rocosos en profundidad). Estos métodos poseen la dificultad de lo que se conoce como “efecto escala”, es decir, cual es la validez del ensayo como para extrapolarlo a todo el macizo rocoso dada la anisotropía y discontinuidad comentadas.

Los segundos consideran los métodos geofísicos y una serie de correlaciones empíricas.

Los métodos indirectos geofísicos permiten determinar la deformación “dinámica” del macizo y se basan en los valores de la velocidad de las ondas elásticas de compresión o longitudinales y de cizalla o transversales a través del macizo rocoso. Las constantes de deformación estática pueden obtenerse a partir de las dinámicas mediante correlaciones, en general, poco precisas.

La evaluación del módulo de deformación en macizos rocosos mediante la utilización de correlaciones empíricas *“representa un valor medio orientativo y en su aplicación debe ser considerado el carácter anisótropo de la deformabilidad de los macizos rocosos”*

A partir del índice de calidad de roca RQD (Deere, 1966) se han establecido correlaciones con el módulo de deformación del macizo propuestas por diferentes autores.

Bieniawsky estableció una relación entre el módulo de deformación in situ del macizo rocoso E (GPa) y el índice RMR. Esta correlación es válida para macizos rocosos de buena calidad, es decir, valores de RMR mayores a 50-55. Así estableció que:

$$E = 2RMR - 100, \text{ en GPa.}$$

Para el caso de valores de RMR entre 10 y 50 (macizos rocosos débiles o blandos, de baja a muy baja calidad), Serafim y Pereira (1983) dedujeron una expresión de E , por la cual *si bien se obtienen valores demasiado altos, es particularmente válida para valores de E entre 1 y 10 GPa* (González de Vallejo, 2003).

$$E = 10^{(RMR - 10)/40}, \text{ en GPa.}$$

Otros autores (Hoek y Brown, 1997) han propuesto una modificación de la expresión anterior en los que la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa presenta un valor inferior a 100 MPa ya que en los macizos rocosos blandos las propiedades de la matriz rocosa influyen decididamente en el proceso deformacional del macizo. No se avanzará en este análisis debido a que los valores de RMR bajos a muy bajos de las zonas litoestructurales por lo general no deben ser considerados a los fines de la fundación de una presa de hormigón, debiendo los mismos ser excavados. En tal caso deberá analizarse el proyecto de otro tipo de presas (de tierra con núcleo impermeable, por ejemplo)

Finalmente, se expresan algunas consideraciones a tener en cuenta en cuanto a la utilización de estas correlaciones empíricas para la determinación del módulo de deformación del macizo rocoso E (González de Vallejo, 2003):

- Son correlaciones no contrastadas suficientemente hasta la actualidad.
- Los criterios aportan valores sólo con carácter orientativo.
- Por lo general sobrevaloran el valor del módulo de deformación del macizo.
- No consideran el carácter anisótropo que puede presentar el módulo de deformación in situ.
- Se recomienda tomar un rango de valores para el macizo rocoso entre $0,4E$ y $1,6E$

3.- Comportamiento hidrogeológico del macizo rocoso. Permeabilidad y presión intersticial de agua.

Respecto al comportamiento hidrogeológico del macizo rocoso, la permeabilidad del macizo y la presión intersticial de agua que circula por las discontinuidades, son los dos parámetros mas importantes a tener en cuenta. Los valores de las presiones ejercidas dentro del macizo pueden variar en función de la menor o mayor facilidad de circulación de agua en las discontinuidades.

Al igual que en los parámetros anteriores descritos, la determinación de las características permeables del macizo rocoso es compleja dada la anisotropía que supone la variabilidad que presenta aún en zonas próximas dentro del mismo macizo rocoso. Dicha anisotropía se encuentra representada por la presencia de varias familias de diaclasas, de discontinuidades particulares como zonas meteorizadas, alteradas, la presencia de fallas, etc.

Se puede evaluar in situ mediante ensayos hidráulicos en intervalos no mayores de cinco metros de manera consecutiva en perforaciones, conocidos como ensayos Lugeon. Siendo el mas clásico y el que se realiza con mayor frecuencia, posee una fiabilidad baja ya que en las pruebas de inyección se introducen en la formación ensayada volúmenes de agua muy bajos lo que implica que tengan un carácter netamente puntual aunque proporciona de manera inmediata medidas cualitativas y, mediante la aplicación de sencillas fórmulas, suministra el valor de K . Además agrega información sobre el comportamiento elástico del macizo rocoso.

Los ensayos de bombeo son mas confiables de obtener parámetros de permeabilidad por su representatividad espacial, pero para ello el macizo debe estar saturado y por su costo e

implementación no han logrado posicionarse en la determinación de la permeabilidad de los macizos rocosos.

Se brinda a continuación una clasificación de macizos rocosos en función de la permeabilidad (Olalla y Sopena, 1991, modificada)

Tipo de Macizo	Unidades	Presión
Rocoso	Lugeon	(kg./cm²)
Muy impermeable	0 a 1	10
Prácticamente impermeable	1 a 3	10
Permeable	3 a 10 y 1,5 a 6	10 y 5 respectivamente
Muy permeable	> 10 y > 6	10 y 5 respectivamente

El “efecto escala” juega un papel preponderante en estas determinaciones. Así es necesario advertir que la determinación de la permeabilidad de los macizos rocosos mediante los ensayos Lugeon in situ sólo es válida si la perforación atraviesa un número representativo de discontinuidades, dejando entonces de tener influencia el volumen de ensayo considerado.

La medida de la permeabilidad en volúmenes pequeños puede dar una idea totalmente errónea del valor real del macizo. Dependiendo de la zona afectada pueden ser muy variables de tal manera que si se extrapolan los resultados de pequeña escala para predecir el flujo de agua en el macizo rocoso, los valores obtenidos difieren a los reales, a veces en uno o mas órdenes de magnitud.

4.- Aplicación. Presa del Ramal H (Tandil, Provincia de Buenos Aires)

Se brinda a continuación una aplicación respecto a la formulación general explicitada.

La denominada Presa del Ramal H (en construcción), sita en la ciudad de Tandil (Prov. de Buenos Aires), consta de una longitud de 160 m. y una altura sobre el terreno natural de 12 metros. Se proyectó a gravedad en Hormigón sobre el macizo rocoso identificado en las investigaciones a baja profundidad. El objetivo de la construcción de la misma es la laminación de crecidas extraordinarias que anegan los barrios de sector oriental de la ciudad.

Como se puede observar en la siguiente fotografía existen en superficie en el sitio de cierre y en el área del futuro embalse temporario, dos componentes claramente definidos:

A.- COBERTURA DE MATERIAL NO ROCOSO.-

Suelos orgánicos, depósitos sedimentarios fluviales y eólicos y materiales friables de origen antrópico. Dadas las características geotécnicas determinadas, el espesor y la disposición de los materiales de cobertura, los mismos deberán ser excavados mecánicamente hasta el techo de roca a los fines de la fundación del cuerpo de la presa y del cuenco dissipador. La estimación del espesor promedio de excavación determinado es de aprox. 2,40 m. y el volumen aproximado para el ámbito de la fundación de la presa es de aprox. 1800 m³.

B.- MACIZO ROCOSO.-

Rocas del Basamento Cristalino Precámbrico (elipses en rojo). Macroscópicamente, las rocas dominantes en el área de fundación son granitoides, gneises gris verdosos de composición tonalítica que han sido intruídos por rocas de origen pegmatítico de grano muy fino, de color rosado. La presencia de estas últimas se detecta mayormente en margen derecha aunque se han observado también en margen izquierda. En corte delgado las rocas no alteradas o con poco grado de alteración

básicamente constituyen rocas granudas, milonitas de composición tonalítica y rocas microgranudas, milonitas de un protolito aplítico o granítico, de grano fino.



Fotografía 1 - Vista general del área de la traza del eje de la presa (primer plano área del estribo de margen izquierda – al fondo área del estribo de margen derecha)

Del análisis del grado de la alteración, se detectaron cuatro formas de ocurrencia dentro del modelo geológico de macizo rocoso determinado para la fundación de la presa:

Forma 1: La zona alterada es paralela a la superficie del terreno y a la roca no alterada. Representado por una capa alterada, de espesor variable, que suprayace a la roca no alterada y que es sinuosa pero paralela/subparalela al terreno natural o superficie topográfica.

Forma 2: La zona alterada se ubica entre discontinuidades. La alteración se produjo a expensas de las zonas fracturadas de inclinación vertical a subvertical, que han dejado importante material intersticial de zona fracturada, brecha, microbrecha, etc.

Forma 3: Variante de la anterior pero de mayores dimensiones. Corresponde a la alteración en zonas de cizallamiento (arenización) y/o de intenso fracturamiento superficial. Roca alterada de manera intensa, como mínimo tipo A_4 (completamente alterada) en los niveles superficiales del macizo presentando también en ocasiones intensa lajosidad.

Forma 4: Roca masiva con bajo grado de alteración o no alterada (fresca). Subyace a la forma 1 y muy posiblemente se encuentre interceptada vertical y subverticalmente por las formas 2 y 3 anteriormente descritas. En términos generales las rocas objeto de fundación, gneisses gris verdosos y pegmatitas aplíticas rosadas, son rocas frescas o débilmente alteradas, A_1 o A_1-A_2 , con cristales brillantes, observándose en general una leve decoloración del macizo en las paredes de los planos de discontinuidad.

La estructura del macizo rocoso responde a la existencia de un amplia zona regional de fajas ultramilonitizadas de rumbo E-O. Consecuencia de la reactivación terciaria producida por la Orogenia Andina de los antiguos planos estructurales correspondientes a las fases deformacionales producidas desde el Ciclo Transamazónico, la situación estructural se resume según tres orientaciones claramente definidas constituyendo los Dominios Estructurales A, de orientación E-O; B, de orientación NE-SO y C, de orientación NO-SE.

En resumen, estructuralmente:

a) Se visualiza una distinta morfología en ambas márgenes. La izquierda posee una tendencia a la concavidad mientras que la derecha existe tendencia a la convexidad. El cuadro lito-estructural y la diferente disposición y respuesta de las rocas resultantes a la degradación explicarían las tendencias descriptas.

b) El cuadro estructural detectado reconoce cuatro familias de discontinuidades a nivel superficial y subsuperficial. Tres de ellas poseen inclinación subvertical y la restante es subhorizontal. Los rumbos generales son NE-SO, NO-SE y E-O.

c) Las estructuras de ciza son de rumbo subparalelo y de rumbo diagonal al eje de la presa y afectan directamente a la fundación de la presa en ambas márgenes. Corresponderían a líneas estructurales de envergadura mayor, de espesor variable y longitud no detectable pero, por inferencia, extensos. Consecuente con ello, existen evidencias de arenización (modelo de alteración 3) en el estribo de margen derecha y en los sondeos a medio faldeo y en margen izquierda a medio faldeo y en el estribo subyacentes a los depósitos arenosos de origen antrópico. Las rocas alteradas resultantes deberán ser excavadas a los fines de la fundación.

d) Respecto a las estructuras cortantes de falla son contrastantes en margen derecha y margen izquierda. Mientras en la primera toda una zona de falla o de corte con intensa microfisuración recorre el empotramiento en forma diagonal al mismo siguiendo una orientación desfavorable a los fines de la estabilidad de la presa (progresivas 110 m. a 150 m.), en la margen izquierda mayormente predomina un macizo fracturado en menor magnitud habiéndose detectado evidencias de falla a medio faldeo (progresivas 45 a 70 m. aprox.) y en las cercanías del sitio de empotramiento como lo detectado en progresiva 24 m.

Orientación de las discontinuidades.

El rumbo de la traza elegida es N40°E.

En margen derecha, en general los rumbos de las discontinuidades dominantes respecto al eje de la presa guardan una relación desfavorable respecto a la estabilidad del estribo toda vez que las mejor caracterizadas, dados los escasos afloramientos y la inexistencia de testigos de perforación orientados, poseen una disposición subparalela o diagonal al eje unos 30° al norte con planos de inclinación de alto ángulo y/o a 45 ° mayormente hacia aguas abajo. Coadyuva a esta definición la existencia de cuatro familias de discontinuidades y sus orientaciones generales.

En margen izquierda el problema de la inexistencia de afloramientos se acentúa. Así, en los escasísimos y muy discontinuos afloramientos se detecta la presencia, si bien en menor magnitud aparente que en la otra margen, de fajas de cizalla de rumbos diagonales (E-O) al eje de hábito subvertical hacia aguas abajo y, en profundidad, fallas de corte, de rumbos no conocidos pero de inferencia diagonal al eje, lo cual también constituye una orientación desfavorable de la estructura respecto al eje y el estribo izquierdo constituyendo vías preferenciales de circulación de agua en el subsuelo.

ZONIFICACIÓN LITOESTRUCTURAL DEL MACIZO ROCOSO A LOS FINES DE SU CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Se han identificado las siguientes zonas litoestructurales consecuentes con la litología, grado de alteración y el sistema estructural descrito:

- **Zona 1:** Responde a los modelos de alteración 1, 2 y 3 descriptos: a) Zona alterada paralela a la superficie del terreno y a la roca no alterada en sectores en margen derecha y en margen izquierda. b) Alternancia de zonas alteradas que se ubican entre discontinuidades en toda el área de la presa. c) Zona de ciza o intenso fracturamiento en margen derecha e izquierda ligado al empotramiento de los estribos y en el subsuelo de la fundación del cuerpo principal de la presa.

- **Zona 2:** Roca masiva, fresca a poco alterada, exceptuando las fallas localizadas, detectada en todas las perforaciones, a distintas profundidades en todo el área de fundación.

En el macizo rocoso, la zona 1 se presenta, en líneas generales, subsuperficialmente paralela y varía su espesor de acuerdo a la ocurrencia local de algunos, a veces combinados, de los modelos 1, 2 y 3 de alteración. La zona 2 se encuentra inmediatamente subyacente.

MACIZO ROCOSO - DETERMINACIONES GEOTÉCNICAS

Zonificado el macizo, el objetivo de clasificar geotécnicamente las zonas resultantes es el de proveer al proyectista de datos cuantitativos que son requeridos para la solución de los problemas de ingeniería y brindar de esta manera una base efectiva de comunicación entre todos los integrantes del equipo de investigación en geotécnia. En este caso se adoptó la Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawsky, 1989).

De acuerdo a la zonificación litoestructural realizada, la zona 1 mayoritariamente posee rocas cuyo grado de alteración inhibe en muchos casos la aplicación de la presente clasificación geomecánica RMR toda vez que las mismas componen un cuadro de alteración cuya distribución expone rocas de alteración A_4 a A_6 por lo que, entre otros parámetros, el RQD no resulta evaluable. Sin embargo, existen también áreas subsuperficiales muy fracturadas, donde la alteración y el grado de fracturamiento, de orientación desfavorable, no alcanzan la magnitud extrema de lo mencionado anteriormente, poseyendo separación de las discontinuidades que varían entre 0,06 m. -0,2 m. y $< 0,06$ m. o brechosa dando como resultado RQD de valores muy bajos a valores 0 (cero), siendo por lo general muy permeables.

La zona 2 presenta rocas duras, gneises y pegmatitas aplíticas, de peso específico general entre 2,6 y 2,9 g/cm³, poco meteorizadas a frescas, algo fracturadas donde si bien las orientaciones estructurales se infieren desfavorables respecto a la estabilidad de estribos y/o circulación de flujo subterráneo, las matrices rocosas en cuanto al grado de alteración mayoritariamente son A_1 a A_1-A_2 , cuestión de importancia respecto a la posibilidad de mejoramiento de las condiciones geomecánicas por tratamiento.

En gran parte, aunque existen excepciones fundamentalmente en el área de los estribos, se determinó para esta zona 2 un valor de RQD superior al 75 % con valores modales en 90 a 100 % siendo que las separaciones de las discontinuidades son por lo general superiores a 0,6 m. y las diaclasas se presentan cerradas o con muy baja apertura ($< 0,1$ mm.), rugosas, por lo general sin relleno (excepto en zonas localizadas de fallas) y donde los planos o paredes de las diaclasas no presentan alteración o la poseen en grado ligero. En general los valores de los ensayos Lugeon son bajos a muy bajos, incluso sin admisiones a excepción de las zonas localizadas de falla que deberán ser tratadas posteriormente.

Determinados los parámetros de entrada en el campo, en laboratorio y en gabinete, se clasificaron geotécnicamente las distintas zonas litoestructurales detectadas de la siguiente manera.

Clasificación geotécnica zonación macizo rocoso

- Zona 1:

PARAMETRO	VALOR	PUNTUACIÓN
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	50-25	4
R. Q. D. (%)	< 25 %	3
Espaciamiento diaclasas (m.)	0,06 – 0,2	8
Naturaleza de las diaclasas	<u>Longitud</u> : 10 a 20 m., <u>Abertura</u> : 0,1- 1 mm. <u>Rugosidad</u> : lig. Rugosa. <u>Relleno</u> : duro. <u>Alt. pared</u> : mod. Alt.	14
Presencia agua subterránea (ltr./min.)	No a < 25	15
Ajuste orientación discontinuidades	Desfavorable	- 15
	RMR	29

Según el valor RMR = 29 obtenido, las áreas minoritarias de mejores condiciones geomecánicas dentro de la zona geotécnica 1 se encuentran dentro de la clase IV de la clasificación geomecánica RMR, cuya calidad de roca es mala.

- Zona 2:

PARAMETRO	VALOR	PUNTUACIÓN
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	100-50	7
R. Q. D. (%)	90 – 100	20
Espaciamiento entre diaclasas (m.)	0,6 – 2,00	15
Naturaleza de las diaclasas	<u>Longitud</u> : 3 a 10 m., <u>Abertura</u> : cerrada a < 1 mm. <u>Rugosidad</u> : Rugosas. <u>Relleno</u> : nulo a duro < 5 mm. <u>Alt. pared</u> : ligera a fresca	21
Presencia agua subterránea (ltr./min.)	No a < 25	15
Ajuste orientación discontinuidades	Desfavorable	- 15
	RMR	63

Según el valor RMR = 63 obtenido, la zona geotécnica 2 se encuentra dentro de la clase II de la clasificación geomecánica RMR cuya calidad de roca es buena.

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE SALIDA

ZONA GEOTECNICA 1

Cohesión = 1 a 2 kgp/cm². Ángulo de rozamiento interno = 15° a 25°. MD = Módulo de deformación genérico del Macizo Rocoso $E = 10^{(RMR - 10)/40}$, en GPa. MD = 2,98 GPa (29.800 kg./cm²)

ZONA GEOTECNICA 2

Cohesión = 3 a 4 kgp/cm². Ángulo de rozamiento interno = 35° a 45°. MD = Módulo de deformación genérico del Macizo Rocoso $E = 2RMR - 100$, en GPa. MD = 26 GPa (260.000 kg./cm²)

CONCLUSIONES DE LA CLASIFICACION GEOTÉCNICA

El macizo rocoso de la presa Ramal H se presenta en zonas contrastantes como las que han sido evaluadas en los párrafos anteriores. El macizo rocoso de la zona geotécnica 1 posee características de calidad de roca mala a muy mala (máximo valor determinado RMR = 29), de bajo valor portante, sujeto a alta deformación y con altos valores de permeabilidad por lo que deberá ser excavado a los fines de la fundación de la presa. Se puede deducir que la excavación del mismo permitirá taludes de media pendiente pero deberán tomarse medidas de estabilización.

El macizo rocoso de la zona geotécnica 2 correspondiente al subsuelo de ambas márgenes posee buenas características geotécnicas al objeto de la fundación (RMR = 63). Presenta carácter duro, poco meteorizado a fresco, algo fracturado con presencia de + de tres familias de discontinuidades al menos subsuperficialmente, pero sin filtraciones importantes dada su baja permeabilidad general, por lo que se deducen mejores condiciones geotécnicas respecto a fundación de la presa que se propone, exceptuando las fallas descritas localizadas que deberán ser tratadas. En general, se puede deducir que posee una capacidad portante media alta a alta, la excavación de taludes se podrá realizar con altas pendientes y no se precisarán mayores medidas de estabilización.

Finalmente, toda el área de implantación deberá ser inyectada una vez excavado el material alterado y realizado el zócalo de fundación de la presa o plinto. Con todo, es necesario advertir la posibilidad de existencia de zonas fracturadas y alteradas que no hayan podido ser detectadas por los registros sísmicos y por las perforaciones realizadas como así tampoco han podido ser observadas a "ojo desnudo" debido a la cubierta vegetal y/o sedimentaria. La existencia subyacente de las mismas, de inclinación oblicua a subvertical, constituirían rocas de disímil calidad geomecánica componiendo además vías preferenciales de circulación del agua. Ello obligará a una laboriosa tarea de excavación mecánica y mediante voladuras de baja intensidad, minuciosa limpieza del sustrato rocoso y un detallado relevamiento, escala 1:100, de las características litológicas y de las discontinuidades durante la excavación a los fines enriquecer el conocimiento geotécnico, determinar la cota definitiva de fundación y el ajuste del proyecto de la presa a las características de detalle del macizo rocoso. Posteriormente se deberá realizar el acondicionamiento de la fundación a través de diferentes tratamientos mediante inyecciones de consolidación e impermeabilización.

BIBLIOGRAFÍA

- Clasificación geomecánica de macizos rocosos. CSIR - RMR. Bieniawsky. 1989.
- Geotecnia y Cimientos. Jiménez Salas y Justo Alpañes. Editorial Rueda. 1975
- Ingeniería Geológica. González de Vallejo. Editorial Pearson. 2003.
- Perforaciones y Sondeos. H. Cambefort. Editorial Omega. 1975
- Presa del Ramal H. Estudio geológico geotécnico. Giaconi, Luis M. 2009 (Inédito)
- Publicaciones de la Internacional Association of Engineering Geology (IAEG).