



Aspectos geológicos y geotécnicos preliminares de la fundación de la presa del arroyo Blanco, Tandil

Preliminary geological and geotechnical aspects of arroyo Blanco's dam foundation, Tandil

Giaconi, Luis Mario¹ ✉ - Calvetty Amboni, Boris² - Giaconi, Mario Nicolás³

Recibido: 12 de julio de 2012 • Aceptado: 18 de septiembre de 2013

Resumen

El presente trabajo trata sobre los aspectos geológicos y geotécnicos preliminares de la fundación de la presa A° Blanco ubicada al sur de la Ciudad de Tandil, Provincia de Buenos Aires. El propósito de la presa es contener y regular las crecientes torrenciales que recurrentemente provocan anegamientos en la ciudad ubicada aguas abajo. El área de proyecto comprende la cuenca hidrográfica del arroyo mencionado cuyas nacientes se ubican dentro del cordón serrano de Tandilia, al SW de la ciudad.

Así, el objetivo liminar es comunicar respecto a las características geológico-geotécnicas generales de los materiales existentes a los fines de la fundación de la presa en el denominado eje variante 3, de rumbo N110°E - N70°O (Azimut N290°) cuya longitud es de 352,10 m a cota 210 m, cota posible de coronamiento.

A estos fines, se realizó la caracterización geológica regional para luego identificar y relevar las unidades geológicas comprendidas por el área del cierre como así también en el área del futuro vaso y sus adyacencias, a través de imágenes satelitales, perfiles topográficos, dispositivos geoelectricos y calicatas, elaborándose subsecuentemente perfiles geoelectricos y geológicos superficiales para finalmente avanzar en la descripción de las características geotécnicas de los materiales encontrados. En síntesis, se identificaron dos componentes geológicos de disímiles características geotécnicas: a) Cubierta sedimentaria de la planicie de inundación compuesta por suelos orgánicos y materiales de origen antrópico, suelos finos plásticos, depósitos sedimentarios eólicos y fluviales. b) Macizo rocoso: Constituido por rocas del Basamento Cristalino Precámbrico. Las mismas afloran en las laderas del valle encontrándose subyacentes a la cubierta sedimentaria.

Palabras clave: Presa - fundación - geología geotécnica preliminar - cubierta sedimentaria - macizo rocoso

Abstract

This paper discusses the geological and geotechnical preliminary specs of the dam "Arroyo Blanco" foundation located south of the city of Tandil, Buenos Aires. The purpose of the dam is to contain and regulate the growing recurrently causing torrential flooding in the town located downstream.

1. Cátedra de Geología Aplicada, FCNyM, UNLP

✉ imgiaconi@gmail.com

2. Consultor Geofísico

3. Facultad de Ingeniería, UNLP

The project area includes the watershed above the stream whose sources are within the highland cord named "Tandilia", SW of the city.

Thus, the preliminary goal is to communicate regarding general geological-geotechnical characteristics of existing materials for the purposes of the foundation of the dam in the so-called "variant 3 axis", N110°E course - N70°W (azimuth N290°) whose length is 352,10 m at an altitude of 210 m, crest elevation possible.

To this end, we performed regional geological characterization and then identify and survey the geological units covered by the area of closure as well as the future basin area, through satellite images, topographic profiles, geoelectric devices and pits, subsequently developed geoelectric and geological surface profiles to finally proceed to the description of the geotechnical characteristics of the materials found. In summary, we identified two components of dissimilar geological geotechnical characteristics: a) Sedimentary cover of the floodplain soil composed of organic soils and materials of anthropic origin, plastic thin soils, wind and fluvial sedimentary deposits. b) Solid rock: Consisting of Precambrian crystalline basement rocks. They emerge on the slopes of the valley found underlying the sedimentary cover.

Keywords: Dam - foundation - preliminary geotechnical geology - sedimentary cover - solid rock

INTRODUCCIÓN

El propósito de la presa reguladora A° Blanco es laminar las crecientes torrenciales que, en ocasiones recurrentes, suelen provocar anegamientos en la ciudad de Tandil, Provincia de Buenos Aires, ubicada aguas abajo y cuya ubicación puede observarse en la Figura 1 y en la siguiente imagen satelital (Figura 2).



Figura 1. Ubicación de la Ciudad de Tandil.

En la Figura 2 se observa una vista general de la ciudad de Tandil donde se identifica hacia el oeste-suroeste del ejido urbano el escurrimiento superficial del arroyo Blanco y la traza del cierre en estudio para la mitigación de las crecidas extraordinarias mediante la construcción de la presa. La flecha en la imagen indica el sentido del escurrimiento fluvial y su punta el nacimiento del entubado del A° Blanco por el cual transcurre a través de la ciudad.

El área de proyecto para la laminación de crecidas mediante una presa sobre el A° Blanco en la ciudad de Tandil abarca la cuenca hidrográfica del arroyo que desemboca precisamente en el denominado entubado del A° Blanco, desagüe pluvial subterráneo que finalmente desagua o descarga aguas abajo de la ciudad en el A° Langueyú, cuya boca se encuentra en la progresiva del cierre 183,13 m. siendo la cota del techo del ducto de 195,87 m. (Figura 3).

Las nacientes de la cuenca se ubican al sudoeste de la ciudad de Tandil dentro del cordón serrano que domina el área, siendo la máxima expresión geográfica del mismo el Cerro Albión ubicado al Este del sitio de estudio.

OBJETIVO

El objetivo liminar del presente trabajo es comunicar las características geológico-geotécnicas generales de los materiales existentes a los fines de la fundación de la presa A° Blanco en el sector del denominado eje variante 3, de rumbo N110°E - N70°O (Azimut N290°) cuya longitud es de 352,10 m. a cota 210 m, cota posible de coronamiento.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Se iniciaron los estudios con la realización de la caracterización geológica regional (Giaconi et al, 2011) y el relevamiento superficial de la geología del cierre utilizándose como base topográfica relevamientos topográficos existentes. En el área existen antecedentes de estudios previos de topografía realizados por profesionales del Distrito Tandil de la Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Públicas (DIPSOH) los cuales fueron complementados por el relevamiento topográfico a escala de semi detalle, 1:1000, de tres opciones de ejes de cierre denominados variantes 1, 2 y 3.

Posteriormente se avanzó en la descripción y evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas del área de localización de la alternativa eje variante 3 mediante la ejecución de



Figura 2. Ubicación de la futura presa del Arroyo Blanco en Tandil, Prov. de Bs.As.



Figura 3. Vista del inicio del entubado del Arroyo Blanco, aguas arriba del eje de cierre de la futura presa.

estudios básicos específicos indirectos y directos, relevándose asimismo topográficamente la misma a escala de detalle (1:100). Cabe destacar que se utilizaron valores locales en metros respecto a las coordenadas X e Y siendo que Z (cota en metros) responde a los valores IGM (Instituto Geográfico Militar). Así, se estableció el par (0,0) de coordenadas (x,y) en el mojón de

margen derecha y, por razones circunstanciales de control, la progresiva 0 m en este eje variante 3 se tomó a partir del mojón de margen izquierda hacia el mojón de margen derecha, sitios ambos a cota IGM 210 m, poseyendo una longitud total de 352,10 m.

La selección de la alternativa eje variante 3 a los fines del desarrollo del proyecto se debe fundamentalmente a razones hidráulicas: a) se encuentra ubicada aguas abajo de la entrada del actual ducto del A° dejando precisamente a la misma como posible descargador de fondo de la futura presa dentro del vaso con lo cual se evitaría la realización de un canal a cielo abierto que restituya los efluvios desde la presa hasta la entrada del actual existente entubado del arroyo si se hubieran elegido las variantes 1 y 2, ubicadas ambas aguas arriba de la entrada al mencionado ducto. b) permite una mayor expansión del vaso a los fines de la proyección de la crecida milenaria.

Se identificaron las unidades geológicas comprendidas por el área futura del cierre, como así también en el área del futuro vaso y sus adyacencias, contando con el auxilio de las imágenes satelitales y la realización posterior de perfiles geoelectrónicos y calicatas superficiales.

Así, se realizaron observaciones y descripciones megascópicas de los afloramientos, mediciones con brújula geológica, observaciones con lupa de las muestras de rocas obtenidas en el muestreo de campo y, a los fines geotécnicos, se ejecutaron sondeos eléctricos verticales (SEV) y un perfil sobre la traza del futuro cierre mediante tomografía eléctrica y calicatas en los suelos y sedimentos superficiales con el objeto de conocer la profundidad y características geomecánicas de los materiales clásticos superficiales en la zona de cierre y embalse y de las profundidades de la roca meteorizada/alterada que subyace subsuperficialmente en el área central del valle y aflora en el área de las laderas, tal como se observa en la Figura 4.

De tal manera se conjugó el cúmulo de información para componer el cuadro geológico geotécnico a nivel de prefactibilidad del cual se desarrolló un esquema geológico en planta

y un perfil sobre el que se proyectará en el futuro el citado cierre a través del desarrollo de sucesivas fases de proyecto.

Finalmente se realizan recomendaciones respecto a los métodos de estudio de las características geotécnicas específicas del sustrato con que se deberá avanzar en el conocimiento geotécnico futuro tratando de mitigar el actual nivel de incertidumbre dado específicamente por el método aquí adoptado de bajo costo como corresponde a un nivel de estudio de prefactibilidad y algunas consideraciones finales de tenor ambiental.

RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO PRELIMINAR DE SUPERFICIE

De las observaciones realizadas, y tal como puede observarse en la figura anterior (Figura 4), el conocimiento geológico se encuentra enmascarado por la existencia de suelos vegetales en toda el área del sitio siendo los afloramientos muy escasos, cuestión que ha dificultado, dado el nivel de prefactibilidad establecido, el conocimiento exhaustivo. De todas formas, existen en superficie en el sitio de cierre y en el área del futuro embalse temporario, dos componentes geológicos: a) Cubierta sedimentaria de la planicie de inundación y b) Macizo rocoso constituido por rocas del Basamento Cristalino Precámbrico. Afloran en las laderas del valle encontrándose subyacentes a la cubierta sedimentaria a lo largo del cierre

A los fines de conocer la distribución en profundidad de los dos componentes geológicos establecidos en superficie mediante las auscultaciones visuales se desarrolló un método expeditivo de rápida ejecución cual es el desarrollo de investigaciones mediante geoelectrónica cuyas características principales se exponen a continuación (Calvetty, 2011).

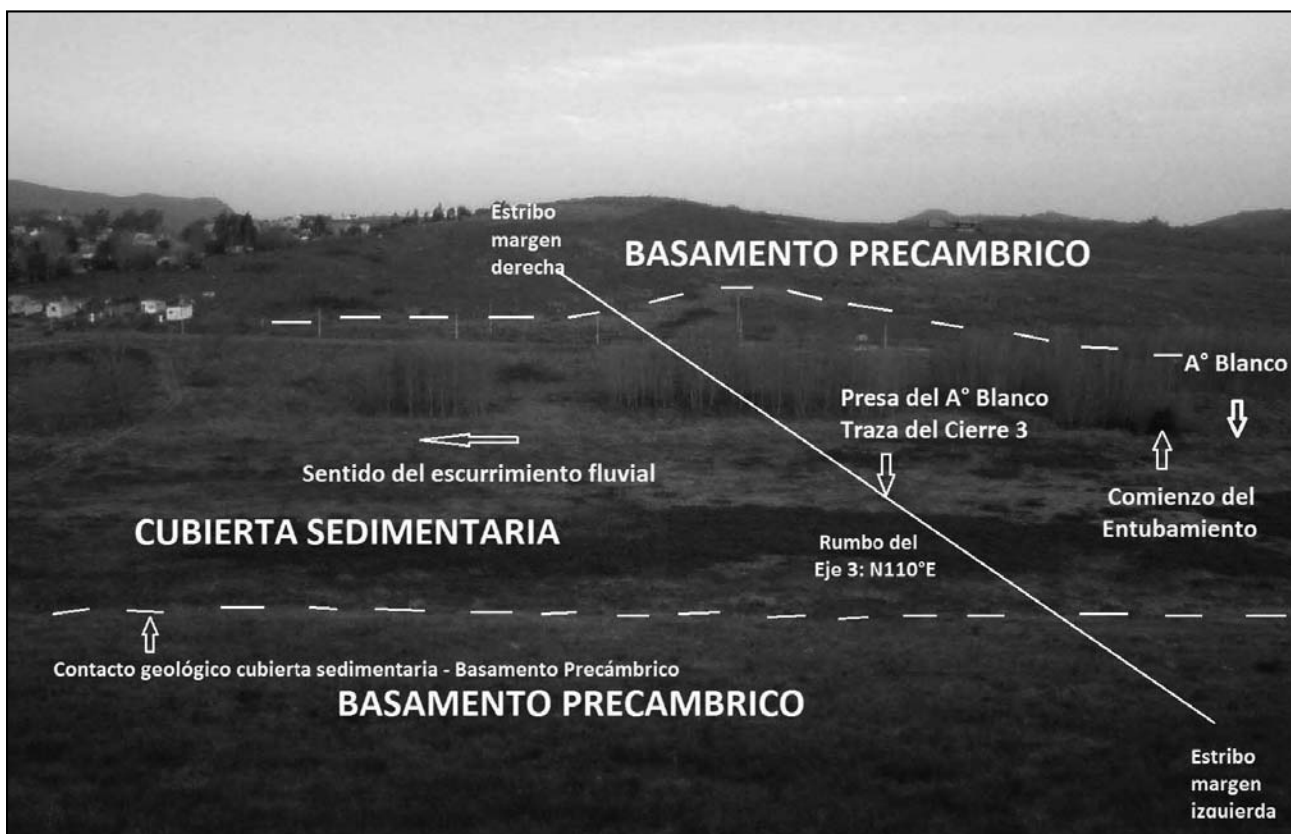


Figura 4. Presa del Arroyo Blanco. Vista general del área de cierre.

RELEVAMIENTO GEOELECTRICO

Se midieron 10 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) (*Orellana, 1982*), cuyas longitudes variaron entre 80 y 125 m de ala, y una línea de tomografía eléctrica de 200 metros de longitud, siendo la finalidad del estudio evaluar las variaciones de la profundidad del basamento a lo largo de la traza del eje variante 3.

LA SECCIÓN GEOELÉCTRICA (SEV)

En la Figura 5 se observa la ubicación en planta de los 10 SEV ejecutados sobre la traza mencionada.

Como resultado, se obtuvo una sección geoeléctrica del cierre 3 donde se define un sustrato de alta resistividad, el que se correspondería con el basamento compacto, y cuya profundidad varía entre los 11 m (cota 190,67 m) de los extremos del perfil en margen derecha (SEV 1 - progresiva 303,93 m - cota 201,67 m) y los 46 m (cota 149,18 m) de los SEV 05 (progresiva 143,84 m - cota 195,24 m) y SEV 06 (progresiva 114,77 m - cota 195,38 m). (*Calvetty, 2011*). No obstante, en los cuatro SEV del sector NNO (margen izquierda) es posible que se encuentre basamento alterado mucho más cerca de la superficie, a profundidades que no superan los 4 a 6 m y mucho menos en el SEV 08 (progresiva 56,58 m), medido prácticamente sobre afloramientos. Diferentes son las condiciones en el sector ESE (margen derecha) del perfil, donde el material sedimentario se apoyaría directamente sobre el basamento inalterado,

aumentando los espesores hasta los 26 m (cota techo rocoso 169,27 m) en el SEV 10 (progresiva 168,90 m), ubicado prácticamente sobre el antiguo cauce del arroyo, y valores de 23 m (cota roca 174,57 m) y 16 m (cota roca 183,24 m) en los SEV 03 (progresiva 229,49 m) y SEV 02 (progresiva 260,7 m) respectivamente, tal como se ilustra en la Figura 6.

Las profundidades, coordenadas locales y cotas IGM del techo de roca inalterada determinados mediante los 10 SEV ejecutados se informan en la siguiente Tabla 1.

LA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

Para el caso de la tomografía eléctrica, los datos se obtuvieron mediante un arreglo multielectrónico lineal con base en el dispositivo de Wenner para obtener un perfil eléctrico del terreno en dos dimensiones (2D) pasible de ser interpretado en términos geológicos (*Loke, 2000*).

La ubicación de la tomografía eléctrica se visualiza en la Figura 7, dejándose explícitamente establecido que la misma se extiende entre la ubicación del SEV 7 (progresiva 84,76 m) y un punto intermedio (progresiva 280 m) entre los SEV 2 y 1 de la Figura 4, por lo cual existe superposición entre la sección geoeléctrica realizada mediante SEV y la tomografía eléctrica. Ello coadyuva a comparar resultados a los fines de validar conclusiones con menor rango de incertidumbre dado lo indirecto del método geoeléctrico.

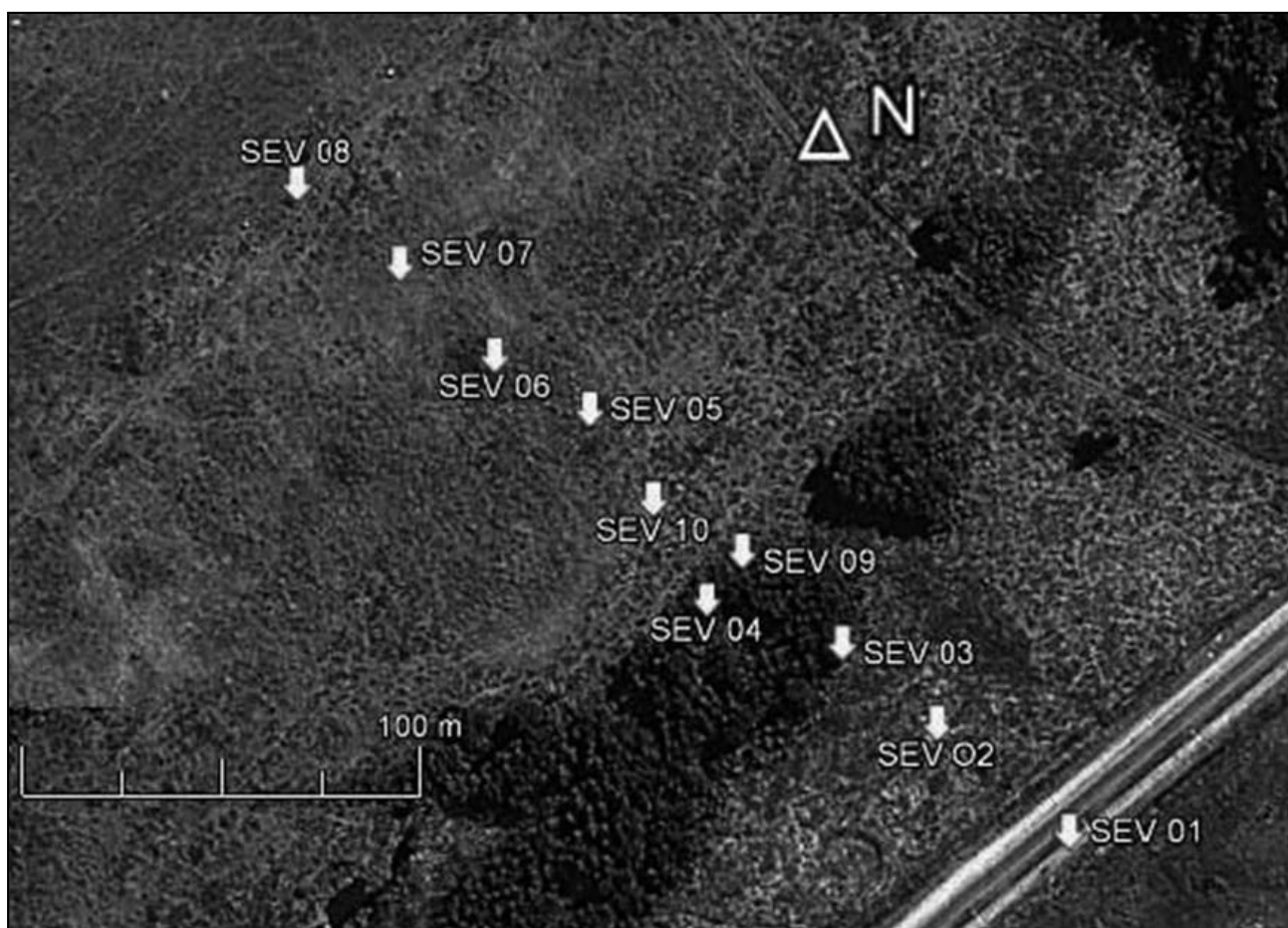


Figura 5. Ubicación de los 10 SEV medidos sobre la traza proyectada.

Tabla 1. Presa A° Blanco – Profundidad y cota del techo de roca inalterada obtenida mediante la ejecución de SEV.

Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)	Progresiva (m)	X (m)	Y (m)	Z Cota IGM (m)	Profundidad techo de roca inalterada (m)	Cota IGM (m) Cota techo de roca inalterada (m)
1	303,93	48,17	0,00	201,67	11,00	190,67
2	260,07	92,03	-0,83	199,94	16,70	183,24
3	229,49	122,61	-0,21	197,97	23,70	174,57
4	189,30	162,80	-0,66	196,29	26,00	170,29
5	143,84	208,26	1,84	195,24	45,00	150,24
6	114,77	237,33	2,26	195,38	46,10	149,28
7	84,76	267,34	4,46	197,02	11,50	185,52
8	56,58	295,52	0,42	199,16	11,80	187,36
9	191,93	160,17	25,66	195,87	29,10	166,77
10	168,90	183,20	0,00	195,47	26,20	169,27

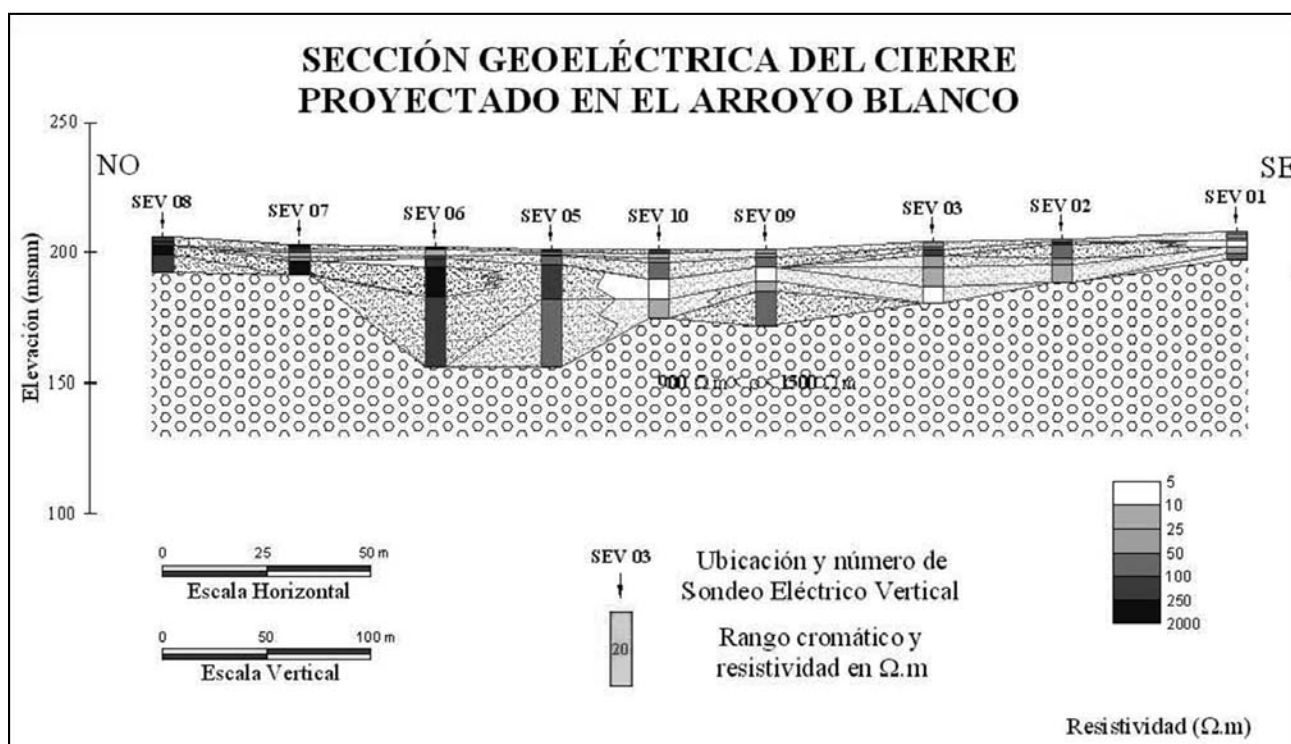


Figura 6. Presa A 0 Blanco -Eje variante 3 - Sección Geoelectrica obtenida a partir de los SEV.

Modelo Bidimensional (2D)

Efectuadas las mediciones de la tomografía eléctrica, lo que se tiene como dato es una grilla vertical con valores de la resistividad aparente en ohmios /m como se visualiza en la Tabla 2. Cabe destacarse que las mediciones se efectuaron para espaciamientos 1a, 2a, 3a, 4a, 5a y 6a (“na” con n de 1 a 6).

Como corresponde con el dispositivo base, la ubicación horizontal de los puntos de la grilla se hace en el punto medio del conjunto de cada arreglo electrodico tetrapolar y su ubicación vertical, o pseudo profundidad, proporcionalmente a la separación electrodica. El procesamiento subsiguiente se efectuó en gabinete aplicando el programa RES2DINV versión

3.54 (Geotomo Software, Malaysia), para lo cual, tanto la ubicación de los electrodos como los valores de resistividad aparente son introducidos en un archivo de texto que pueda ser leído por el programa.

El resultado obtenido de la aplicación del programa mencionado se visualiza en la Figura 8.

Así, aplicando una rutina de modelado directo, el programa permite observar las variaciones de la resistividad aparente de campo mediante una pseudosección (“Measured Apparent Resistivity Pseudosection”, parte superior de la Figura 8), que es obtenida por interpolación entre los valores de resistividad aparente obtenidos (los que muestra la Tabla 2) y presenta en

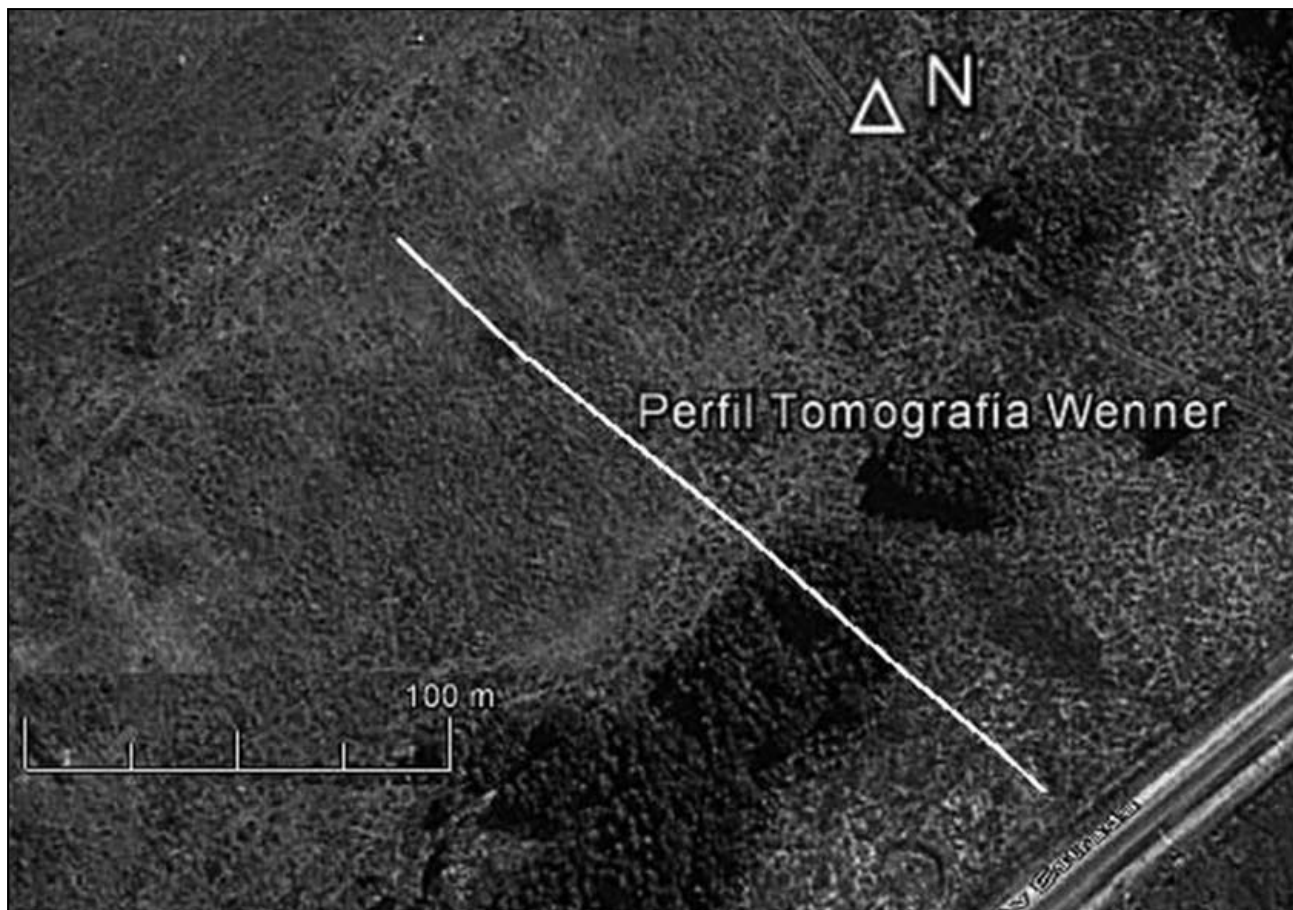


Figura 7. Ubicación del estudio geoelectrico mediante Tomografía Wenner.

Tabla 2. Tomografía eléctrica. Valores de la resistividad aparente en ohmios/m obtenidos entre el SEV 7 (Progresiva 84,76 m) y un punto intermedio entre los SEV 2 y 1 (Progresiva 280 m).

n																				
1	55,9	14,6	13,0	50,3	50,0	36,1	36,8	25,7	47,6	36,1	24,0	112,4	68,0	76,6	70,9	74,4	65,5	49,4		
2		90,6	20,4	81,6	37,6	26,8	30,5	49,9	52,8	57,0	64,8	91,3	64,8	104,0	144,3	143,3				
3			46,1	40,5	46,7	40,8	56,8	72,6	75,7	86,2	100,1	110,8	149,9	180,7						
4				186,6	66,2	127,0	103,3	96,4	103,3	127,0	66,2	186,6								
5					90,3	40,7	112,0	127,6	164,9	199,6										
6						132,5	157,2	197,8												

forma gráfica, de manera muy conveniente, los valores de la resistividad aparente obtenidos, proporcionando un cuadro aproximado de la distribución de la resistividad verdadera del subsuelo. Es un cuadro aproximado debido a que sigue siendo un cuadro distorsionado ya que las formas de las isóneas de la Figura 8 dependen: a) del tipo de arreglo utilizado tanto como b) de la resistividad verdadera del subsuelo. Por tanto, sería un error intentar utilizar esta “pseudosección” (parte superior de la Figura 8) como resultado final de la verdadera resistividad del subsuelo. No obstante, sirve como guía inicial para la posterior interpretación cuantitativa.

A continuación se elabora un modelo 2-D del subsuelo consistente en un gran número de bloques rectangulares, en los que el programa subdivide automáticamente el subsuelo para, a continuación y mediante una subrutina de inversión de

cuadrados mínimos, determinar el valor apropiado de resistividad para cada bloque, de modo tal que los valores de *resistividad aparente calculados* para el modelo (“Calculated Apparent Resistivity Pseudosection”, gráfico intermedio de la Figura 8) coincidan aceptablemente con los valores medidos en el relevamiento de campo.

Es decir, como todo método de inversión, el programa proporciona un modelo del subsuelo (“Inverse Model Resistivity Section”, parte inferior de la Figura 8) que se corresponde adecuadamente con los datos medidos. Para lo cual el programa RES2DINV utiliza un método iterativo que comienza con un modelo inicial que en sucesivas iteraciones logra un modelo cuyos valores de resistividad aparente calculados sean próximos a los valores medidos.

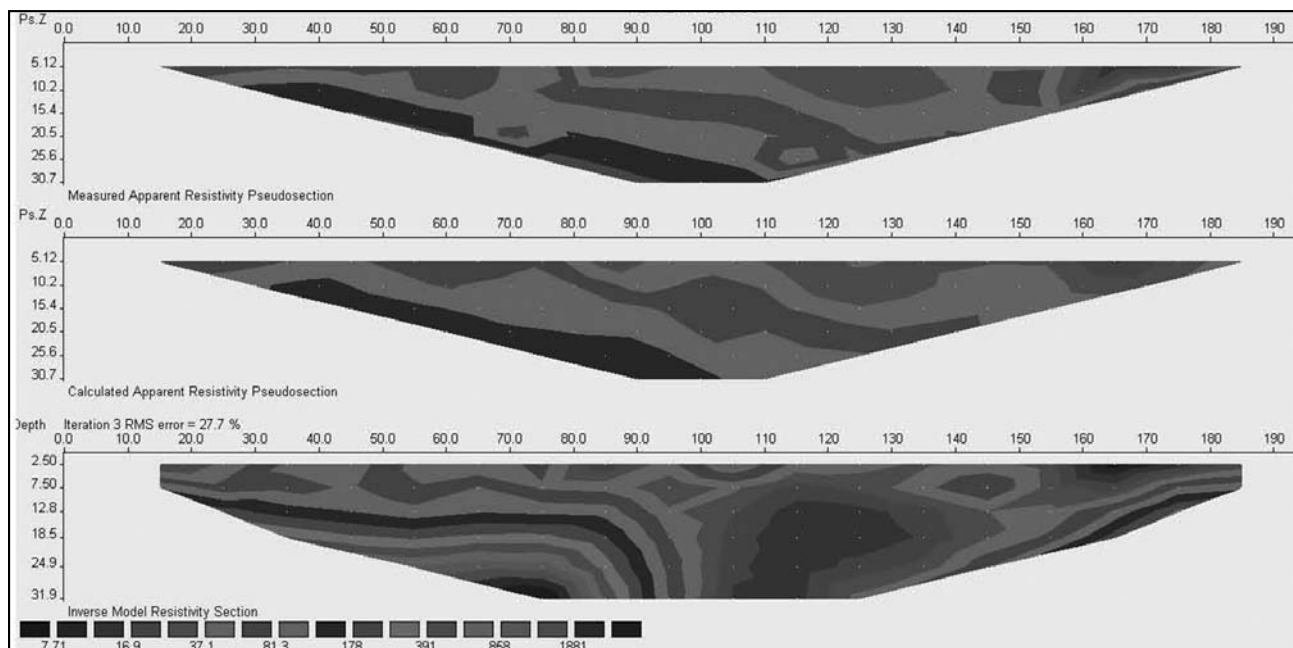


Figura 8. Tomografía Eléctrica- Imagen eléctrica obtenida con el dispositivo Wenner.

El modelo obtenido en la parte inferior de la Figura 8 en base a la realización de la tomografía eléctrica, muestra un esquema de resistividades cuya ubicación es coincidente con el tramo establecido entre el SEV 7 (progresiva 84,76 m) y un punto intermedio entre los SEV 2 y 1 (Figuras 5 y 6), aproximadamente progresiva 280 m.

Según se observa en la escala de profundidades, el ensayo tomográfico posee penetración máxima de 31,9 m y, considerando la escala cromática de resistividades, los valores que pueden asociarse a la existencia de basamento próximo a la superficie se dan en los extremos del perfil. Así, en el sector NO, ello ocurre entre el inicio del perfil tomográfico en margen izquierda (progresiva 84,76 m) hasta la progresiva 170 m (sector del SEV 10, coincidente con el antiguo cauce del arroyo hoy ocupado por el ducto subterráneo). En dicha sección la resistividad va en aumento con la profundidad hasta encontrar valores superiores a los 1000 ohmios.m a partir de los 25 m de profundidad. Ocurre algo similar en el sector SE a partir de las proximidades de la progresiva 250 hacia el estribo de margen derecha. Se interpreta que recién a partir de esta profundidad de 25 m se encontraría basamento inalterado, siendo que en ambos sectores por encima de la misma se daría la presencia de basamento alterado con una delgada capa superficial (del orden de los 5 a 7,5 m) de material sedimentario.

En cambio, en la parte central del perfil, entre las progresivas de 90 y 130 m de la Figura 8, coincidente con las progresivas 170 a 210 m del perfil topográfico del cierre 3 (SEV 10 y 9), no se observan resistividades superiores a los 100 ohmios.m hasta la máxima penetración de la sección. Más aún, entre las progresivas 105 y 115 de la Figura 8, coincidente con las progresivas 185 a 195 m del cierre topográfico 3, no superan los 15 ohmios.m, por lo que cabe afirmar que en esta parte de la sección y hasta la máxima profundidad investigada (32 m) no existen evidencias de basamento.

La comparación de los resultados de ambas técnicas geoelectricas arroja coincidencias en las cercanías del contacto entre la planicie de inundación del arroyo Blanco y las laderas rocosas de los estribos respecto a la existencia de basamento a una relativa escasa profundidad y un consecuente bajo desarrollo y espesor de los sedimentos clásticos. No así en el sector central del perfil. Allí indica divergencias no verificables en el actual estado del conocimiento, pero considerando los dos perfiles obtenidos por la aplicación de estas dos técnicas diferentes, se observa que entre ambos no se dan contradicciones importantes y constituyen, ambos, una interesante y útil referencia para programar las subsiguientes tareas de exploración, las que por otra parte proporcionarán las referencias necesarias para el posterior ajuste de lo aquí explicitado.

RELEVAMIENTO GEOLÓGICO

En base a las determinaciones del reconocimiento geológico de superficie, a las conclusiones del informe de geoelectrica y a los perfiles litológicos de las calicatas ejecutadas a lo largo del cierre 3 que se detallan a continuación y, tal como se puede observar en el esquema geológico en planta y el perfil geológico exagerado adjunto (Figura 9), existen dos componentes claramente definidos:

A. Cobertura de material no rocoso o cubierta sedimentaria

Constituidos en general por suelos orgánicos y materiales de origen antrópico, suelos finos plásticos, depósitos sedimentarios eólicos y depósitos gruesos de origen fluvial y/o remoción en masa.

B. Macizo rocoso

Constituido por rocas del Basamento Cristalino Precámbrico. Afloran en las laderas del valle encontrándose subyacentes a la cubierta sedimentaria a lo largo del cierre.

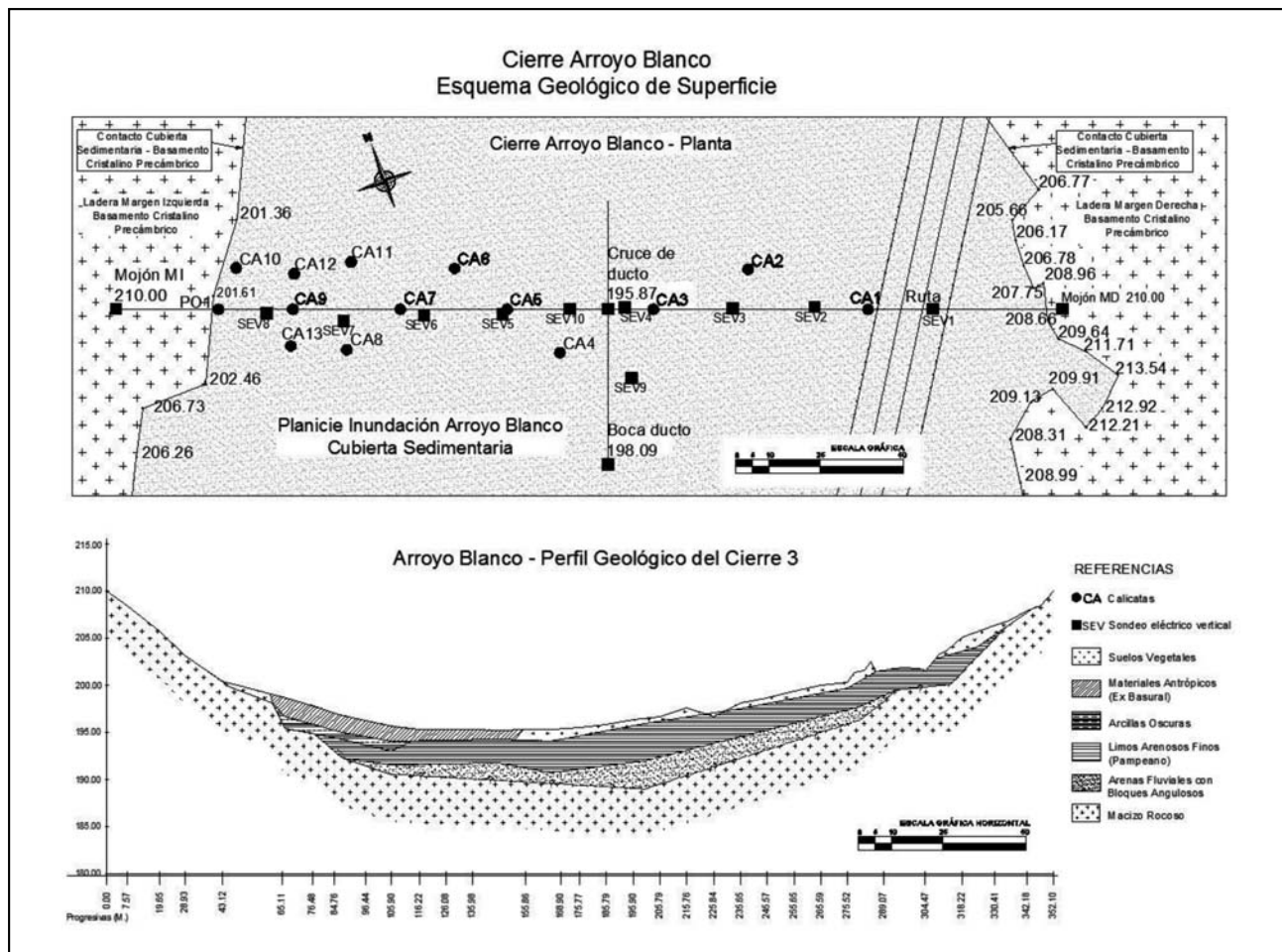


Figura 9. Presa del A° Blanco - Esquema geológico - Planta y perfil.

A. CUBIERTA SEDIMENTARIA

A.1. Realización de calicatas - Descripción de los materiales de la cubierta sedimentaria

No existiendo mayor evidencia en superficie respecto a la naturaleza de los materiales de cobertura debido a la presencia de suelos orgánicos que tapizan el sitio, se realizaron 14 calicatas a los fines de identificar y caracterizar los materiales que componen la cubierta mencionada y cuyas ubicaciones se exponen en la Figura 9 con la denominación genérica CA y se detallan posteriormente en la Tabla 3. Cabe acotar aquí que en dicha figura se identifican también las ubicaciones de los Sondeos Eléctricos Verticales con la denominación SEV que fueron detallados en la Tabla 1.

Las calicatas fueron realizadas con equipo retroexcavador a lo largo del eje del cierre 3 disponiéndose un diagrama en tres bolillo tratando de abarcar una superficie de influencia de aproximadamente 50 metros de ancho. La profundidad de la investigación en esta etapa de los estudios estuvo supeditada al alcance del brazo del equipo de excavación.

Respecto a estos materiales, los mismos son de naturaleza clástica. La columna posee una zona superficial de espesor variable entre 0,75 m. a 1,75 m. compuesto por suelos de origen natural y/o antrópicos, orgánicos. En margen izquierda, desde aprox. prog. 60 m hasta aprox. prog. 150 m, los suelos vegetales naturales se encuentran enterrados por materiales antrópicos de alto contenido de materia orgánica pertenecientes a un ex basural en el sector.

Subyacente a los suelos orgánicos, los materiales de la cubierta sedimentaria se encuentran mayormente constituidos por: materiales arcillosos de colores oscuros, sedimentos eólicos limo arenosos finos, de colores pardo rojizos y sedimentos gravo arenosos de colores pardos y rojizos con presencia de bloques angulosos a subangulosos de dimensiones variables.

Las siguientes figuras (Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13 y Figura 14) son ilustrativas de los materiales investigados.

A.2. Perfil geológico integrado de los materiales clásticos sedimentarios

La cubierta sedimentaria clástica se encuentra yuxtapuesta a las rocas del basamento en toda la planicie de inundación del arroyo. Integrados los perfiles de cada una de las calicatas descritas a lo largo del cierre 3 se obtiene un perfil cuya gráfica se inserta en el perfil geológico de la Figura 9 y cuya descripción se desarrolla a continuación:

A.2.1. Cobertura de suelos orgánicos.

Superficialmente se dispone una cobertura con alto contenido de materia orgánica que posee espesor variable entre 0,75 m. a 1,75 m. y se encuentra compuesta por los suelos de origen natural y/o antrópico. En general, abarca en superficie desde las proximidades del estribo de margen derecha donde afloran las rocas del macizo rocoso (Progresiva 348 m) hasta el contacto con la ladera izquierda (Progresiva 45 m) compuesta



Figura 10. Calicata 2 (Progresiva 235,24 m). Suelo vegetal hasta 0,75 metros y limo arenoso fino de origen eólico que lo subyace hasta el final de la excavación a 4,20 metros de profundidad.



Figura 11. Calicata 4 (Progresiva 165,26 m). Sedimentos eólicos (3,30 m de espesor) suprayaciendo a sedimentos fluviales psefiticos. Se detectó la presencia de nivel acuífero.

por material rocoso del Basamento Precámbrico, poseyendo la particularidad que, en margen izquierda, desde aproximadamente progresiva 60 m hasta aproximadamente progresiva 150 m, los suelos vegetales se encuentran enterrados por materiales antrópicos de alto contenido de materia orgánica pertenecientes a un ex basural en el sector.

Subyacente a los suelos orgánicos, los materiales de la cubierta sedimentaria se encuentran mayormente constituidos por:

A.2.2. Materiales arcillosos de colores oscuros

Estos materiales fueron detectados en las calicatas entre las progresivas 60 m a aprox. 120 m. Su piso se encuentra en contacto con los sedimentos limo arenosos finos pardo rojizos (CA7 y CA11) o bien con las rocas del Basamento Cristalino (CA8, CA9, CA12 y CA 13) alcanzando su mayor espesor (2,55 m) en la progresiva 85,90 aguas abajo del eje del cierre (CA8) en contacto con el Basamento Cristalino.

Granulométricamente son finos, arcillosos, y poseen plasticidad (CH). Su origen podría atribuirse a la existencia de un ambiente fluvial de baja energía posterior a la depositación de los sedimentos eólicos del Pampeano. Coadyuva a esta interpretación el adelgazamiento o inexistencia de los materiales clásticos (¿erosión?) donde estos los subyacen. Una segunda interpretación podría deberse a la digestión de los materiales orgánicos que lo suprayacen. Sin embargo, esta posibilidad parece poco probable debido a que en las calicatas CA5 y CA6

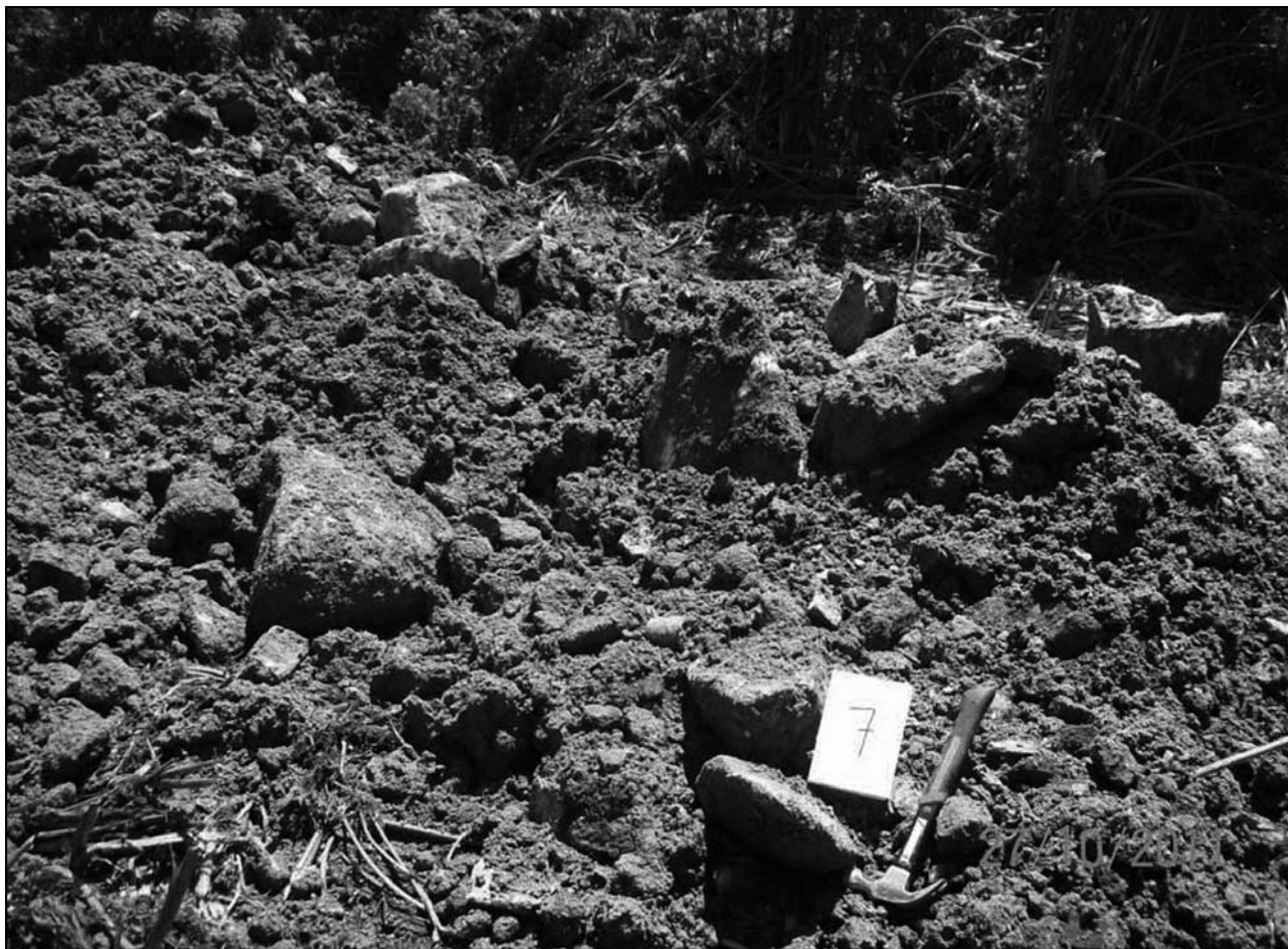


Figura 12. Calicata 7 (Progresiva 105,90 m). Subyaciendo los 4 metros de profundidad: detalle de la abundancia de bloques de composición granítica en material areno gravoso de origen fluvial.

donde se describen suelos antrópicos en superficie no se detectaron estas arcillas siendo el contacto neto entre los suelos superficiales y los sedimentos eólicos del Pampeano.

A.2.3. Sedimentos eólicos limo arenosos finos, de colores pardo rojizos

Subyacentes se han depositado sedimentos loessoides del Pampeano. Son sedimentos de textura limo arenoso fina, algo arcillosa, de color pardo amarillento a pardo rojizo, de origen eólico, atribuidos al Pampeano. Su naturaleza se debe a redepósitos de materiales de origen volcánico sedimentario cuyo transporte es de origen eólico.

Los mismos tapizan el ámbito de las Sierras Septentrionales o Tandilia y toda la llanura que las rodea alcanzando espesores de mucho mayor magnitud que los verificados en el presente perfil. Con excepción de lo detectado en la calicata CA2 (Progresiva 235,24 m) donde no se alcanzó el piso de estos depósitos, el máximo espesor se verifica en la CA3 (Progresiva 200,07 m) donde alcanza los 3,90 m, siendo que en el resto de las calicatas situadas entre prog. 127 a 282 mantiene un espesor promedio superior a los 2,50 m adelgazándose hacia la margen izquierda hasta no verificarse su presencia a partir de aproximadamente la progresiva 77 metros. La edad de estos depósitos si correspondieran a la Fm Vela serían atribuibles al Pleistoceno medio (entre 780.000 a 125.000 años de antigüedad). Si correspondieran a la Fm Barker serían más antiguos,

atribuibles en este caso al Plioceno – Pleistoceno Inferior (entre 2.500.000 a 780.000 años)

A.2.4. Sedimentos gravo arenosos de colores pardos y rojizos con presencia de bloques angulosos y subangulosos de dimensiones variables

Estos sedimentos clásticos por su posición en secuencia responden su origen a procesos erosivos anteriores a la deposición del Pampeano. La textura de los mismos es evidencia que en la historia geológica de la región han existido corrientes de mayor energía que las que actualmente se desarrollan en el área. Respecto a su granulometría, la presencia de bloques de dimensiones variables en matriz gravo arenosa gruesa a mediana, angulosos a subangulosos denotan una roca madre cercana tal como lo son las mismas rocas del Basamento Cristalino presente en las proximidades. En parte se podrían asociar a movimientos de remoción en masa de menor cuantía y muy locales seguramente concomitantes con procesos fluviales.

La Figura 15 ilustra sobre el perfil encontrado en la excavación de la embocadura del ducto del A° Blanco.

En ella se visualizan parcialmente estos sedimentos psefíticos infrayacentes a los sedimentos eólicos del Pampeano (limos arenosos de color pardo amarillento a pardo rojizos). En el caso de esta figura se interpreta que los sedimentos gruesos son productos fluviales y/o de remoción en masa con presencia mayoritaria de materiales psefíticos (bloques subangulosos



Figura 13. Calicata 8 (Progresiva 85,90 m). Presencia de 2,55 m de espesor de materiales arcillosos plásticos de color oscuro que suprayacen a las rocas del Basamento Cristalino Precámbrico.

a angulosos de composición granítica) en escasa matriz gravo psamítica. Tal condición textural coadyuva a la inferencia que la roca madre (Basamento Cristalino) se encuentra en las proximidades aportando precisamente materiales a estos depósitos conglomerádicos basales.

El espesor de estos materiales clásticos no ha sido posible determinarlos toda vez que no se ha podido llegar al piso de los mismos en el área central del perfil habiéndoselos descriptos en las calicatas desde las progresivas 102 a 282 aproximadamente. De todas maneras se estima en general un espesor total de pocos metros para estos materiales conglomerádicos.

Investigaciones posteriores más avanzadas mediante sísmica de refracción y perforaciones deberán dilucidar el espesor real de estos materiales, cuestión que se torna trascendente debido a su directa implicancia en la elección del tipo de presa a proyectar. En tal sentido, las determinaciones realizadas mediante el método indirecto geoelectrico arrojan resultado sobre la existencia de un macizo rocoso en condiciones de inalterabilidad a alta profundidad relativa. La presencia de materiales clásticos discordantes del Conglomerado Basal sobre las rocas alteradas del macizo no brindan un contraste resistivo que amerite una diferenciación neta entre los depósitos sedimentarios y el basamento cristalino por lo que se infiere que el techo rocoso se encuentra a profundidades menores que lo arrojado por la geoelectrica aunque como ya se ha expresado, estudios básicos directos deberán dirimir esta cuestión.

Hasta aquí se ha desarrollado la descripción de los materiales sedimentarios relevados mediante observaciones de campo y las calicatas ejecutadas a lo largo del cierre. En áreas distales aguas abajo del presente cierre 3, se ha descripto que en la columna sedimentaria se integra algunas veces un segundo nivel de espesor reducido de Pampeano de manera infrayacente a los sedimentos psefíticos descriptos, situación de la que se deja constancia en este trabajo porque, aunque poco probable, podría ocurrir que esta circunstancia se pudiera repetir en el sitio de estudio una vez ejecutados los estudios básicos complementarios que se sugieren. Ello implicaría un mayor espesor de sedimentos de la cubierta sobre el Basamento cristalino, fundamentalmente de eventual ocurrencia en el sector donde la geoelectrica demarca un mayor espesor de niveles de baja resistividad, entre progresivas 90 a 260 aproximadamente.

A.3. Presencia de agua subterránea - Nivel acuífero

El agua subterránea detectada en las investigaciones es freática (acuífero libre), ignorándose la presencia de agua que responda a características de semiconfinamiento o confinamiento en el sitio debido a la presencia de niveles arcillosos suprayacentes a sedimentos limo arenosos en margen izquierda que, por su posición en secuencia y profundidad, podría ser portador de agua fundamentalmente en períodos húmedos dentro del ciclo hidrológico. De constatar su existencia, esta ocurrencia sería local.



Figura 14. Punto Observación 1 (POI) en Progresiva 45,95 m. Presencia de rocas del Basamento Cristalino Precámbrico bajo 0,3 metros de suelo vegetal.

Respecto al nivel de agua detectado en las calicatas realizadas, el mismo se encuentra en las actuales condiciones hidrológicas regionales a una profundidad variable acorde a la morfología y características clásticas del perfil denotándose su presencia a alta velocidad cada vez que se excavaron los materiales texturales gruesos mientras que en las calicatas excavadas en materiales eólicos se constató una zona de humedad correspondiente precisamente a la existencia de nivel acuífero freático de muy baja velocidad de escurrimiento subterráneo, no registrándose nivel observable a partir de la progresiva 62 m hacia margen izquierda.

El acuífero se desarrolla en manto en la planicie de inundación hasta las proximidades de la progresiva 62 m siendo muy posiblemente el arroyo influente respecto a la capa.

Es posible también que subterráneamente el macizo rocoso descargue agua circulante a través de las fisuras en los materiales de la planicie de inundación fundamentalmente en períodos húmedos ignorándose la magnitud de tal ocurrencia. En tal sentido, cabe destacar que en el área del estribo de margen derecha se observa la presencia de manantiales temporarios cuya alimentación es por descarga directa gravitacional desde el macizo rocoso hacia cotas inferiores fundamentalmente en períodos húmedos de precipitaciones recurrentes. En tal sentido la zona saturada detectada en la calicata CA1 puede ser debida a esta ocurrencia.

Desde el análisis de la relación hidrodinámica agua superficial - agua subterránea, es posible inferir que durante períodos húmedos a muy húmedos exista una relación de influencia temporaria desde la capa subterránea, siendo que en períodos secos es el agua superficial del arroyo quien alimenta o influye sobre la capa subterránea, proceso común en áreas de cabezeras de valles.

La presencia del agua subterránea descrita determina la necesidad de proveer bombeo del agua desde las excavaciones.

Nivel acuífero detectado en las calicatas

Finalmente, el nivel de agua detectado en las calicatas ejecutadas responde a las profundidades que se mencionan en la Tabla 3. En ella, la expresión D- corresponde al desplazamiento de la calicata 15 metros hacia aguas arriba respecto al eje D+ a la misma acción pero hacia aguas abajo.

A.4. Características geotécnicas de los materiales clásticos sedimentarios

Respecto a las características geotécnicas de los materiales clásticos sedimentarios en el perfil relevado mediante calicatas a lo largo del cierre se describe una zona superficial de espesor variable entre 0,75 m. a 1,75 m. compuesto por suelos de origen natural y/o antrópico, orgánicos, de alto límite líquido por lo que su baja resistencia y alta deformación obligan desde un primer análisis a la necesaria remoción de los mismos.

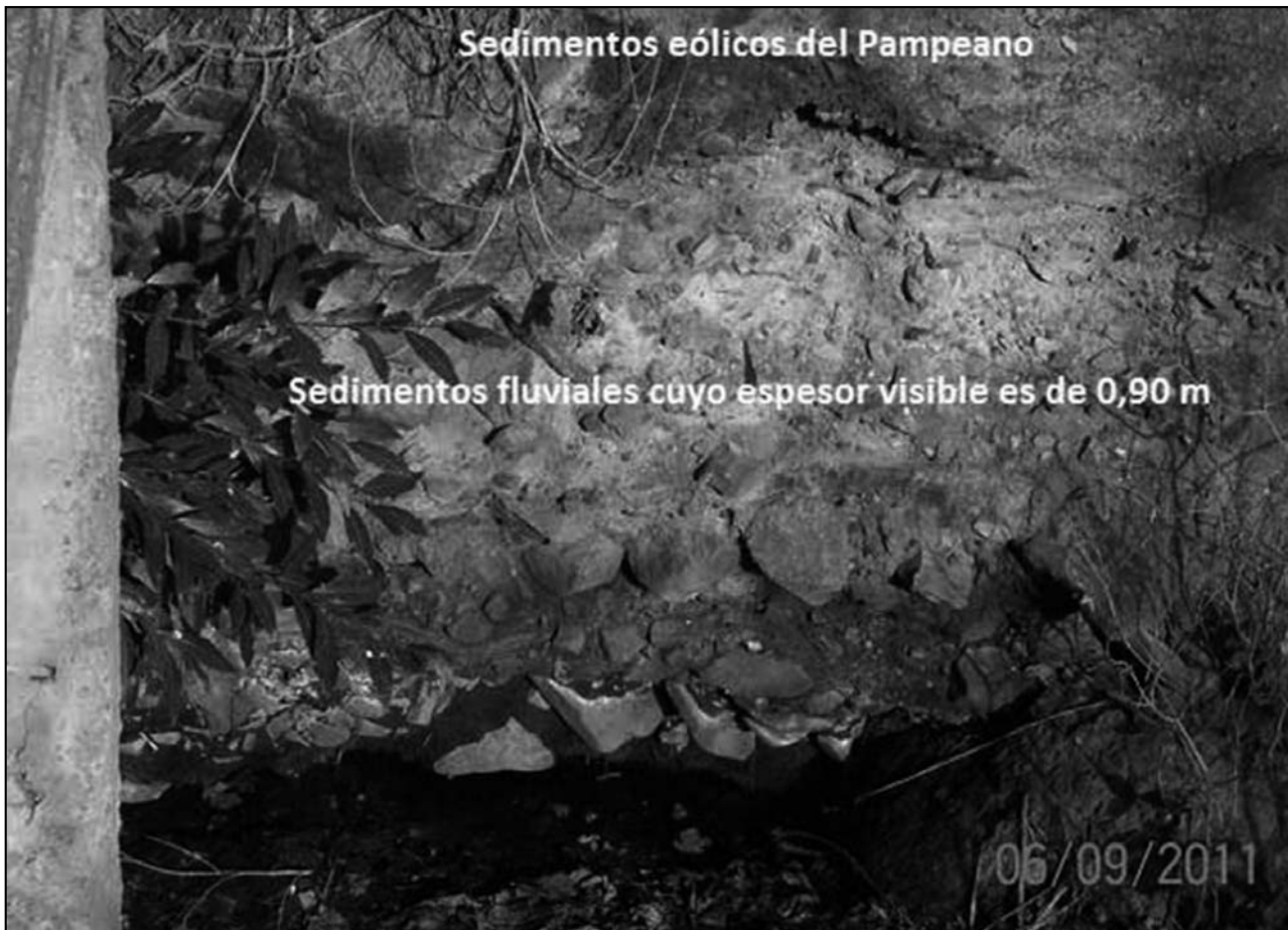


Figura 15. Embocadura del dueto del A° Blanco (aguas arriba del eje de cierre 3). Se visualizan parcialmente los sedimentos fluviales (psefitas angulosas a subangulosas en escasa matriz psamítica) infrayacentes a los sedimentos eólicos del Pampeano (limos arenosos de color pardo amarillento a pardo rojizos).

Tabla 3. A° Blanco - Eje 3 - Distribución de las calicatas y profundidad del nivel acuifero.

CALICATA	Progresiva (m)	X (m)	Y (m)	Cota IGM (m)	Profundidad nivel estático (m)	Cota nivel estático (m)
CA1	279,89	72,21	0,00	201,60	1,70	199,90
CA2	235,24 (D+)	116,86	14,85	198,20	2,40	195,80
CA3	200,07	152,03	0,00	196,49	2,30	194,19
CA4	165,26 (D-)	186,84	-16,12	195,04	3,00	192,04
CA5	145,69	206,41	0,00	195,30	3,50	191,80
CA6	126,08 (D+)	226,02	15,23	195,65	4,00	191,65
CA7	105,90	246,20	0,00	195,56	3,00	192,56
CA8	85,90 (D-)	266,20	-14,83	197,10	4,00	193,10
CA9	65,87	286,23	0,00	198,38	No se observó	-
CA10	50,65 (D+)	301,45	15,27	199,80	No se observó	-
CA11	87,51 (D+)	264,5	17,62	196,78	4,00	192,78
CA12	66,36 (D+)	285,74	13,24	198,13	No se observó	-
CA13	65,11 (D-)	286,99	-13,65	199,16	No se observó	-
PO1	45,95	306,15	0,00	199,77	No se observó	-

En margen izquierda, desde aprox. prog. 47 hasta aprox. prog. 152, los suelos vegetales naturales se encuentran enterrados por materiales antrópicos de alto contenido de materia orgánica pertenecientes a la existencia de un ex basural en el sector. Como ya fue indicado anteriormente, éstos deben ser totalmente excavados por las razones expuestas.

Igual tratamiento deberán tener los materiales arcillosos de colores oscuros (CH en la clasificación SUCS) que se disponen entre progresivas 57 m a 117 m con un espesor máximo detectado de 2,55 m en la calicata CA8 (Prog. 85,90 m). Los mismos son excavables mecánicamente con facilidad.

Los sedimentos eólicos del Pampeano, de granulometría limo arenosa fina, poseen condiciones medias de resistencia, deformación y permeabilidad siendo materiales de buena condición geomecánica e hidráulica una vez sometidos a procesos de compactación. Se disponen prácticamente en toda la longitud del cierre alcanzando su espesor detectado máximo de 3,90 m en la calicata CA3 (Prog. 200,07 m).

Finalmente los sedimentos psefíticos infrayacentes, de los cuales no se conoce su espesor total aunque se estima en pocos metros, poseen buena condición geomecánica resistente bajo confinamiento axial pudiéndose mejorar sus características respecto a la deformación sometiéndolos a tratamiento. Desde el punto de vista hidráulico poseen valores de permeabilidad media a alta y hasta muy alta dependiendo ello de la relación granulométrica de su matriz arenosa y la existencia de cola de finos.

Valores de K superiores a órdenes de magnitud a 10⁻² cm/seg. se estima muy frecuentes. En caso que la ingeniería decidiera fundar sin excavar estos materiales, sería necesario establecer una barrera impermeable cuyo tipo se deberá dirimir una vez conocidas las características intrínsecas de estos sedimentos y su espesor real.

Todas las condiciones geotécnicas descriptas poseen carácter general y deberán ser investigadas en detalle y con precisión mediante estudios básicos directos en perforaciones y ensayos de campo y laboratorio debiéndose investigar además fundamentalmente el espesor y características mecánicas e hidráulicas de los sedimentos psefíticos a los fines de poder tomar decisiones respecto a los tratamientos a ejecutarse de acuerdo al tipo y características de la fundación y dimensiones de la excavación que el tipo de presa a adoptarse requiera.

Finalmente, los materiales descriptos en el presente perfil son excavables, con mayor o menor dificultad, por medios mecánicos acordes a las dimensiones de las excavaciones que se requieran.

B. MACIZO ROCOSO

B.1. Características litológicas

Las características litológicas de las rocas del Basamento Cristalino Precámbrico en el sitio se determinaron sólo megascópicamente en el campo, sugiriéndose que en una



Figura 16. A° Blanco- Margen derecha- Rocas de grano muy fino, de color gris oscuro con presencia de lajosidad, tenaces y poco alteradas a inalteradas.

futura etapa se realice un estudio petrográfico microscópico sobre muestras inalteradas de testigos de roca que se obtengan de las perforaciones.

Macroscópicamente, las rocas dominantes en el área de fundación son cristalinas, de grano fino, de color gris oscuro, lajas y tenaces. Constituyen milonitas de un protolito posiblemente granitoide que han sido deformadas en profundidad durante fases orogénicas muy antiguas (Figura 16),

Las matrices rocosas se presentan en parte inalteradas o poco alteradas existiendo también diferentes grados de meteorización y/o alteración al influjo de zonas de cizalla. Las discontinuidades son frecuentes presentándose en las rocas inalteradas a poco alteradas en planos netos, con escasa a nula abertura y sin evidencia de rellenos, al menos en superficie.

B.1.1. Meteorización - Grados de alteración

La meteorización es la desintegración física y descomposición química de las rocas en la superficie terrestre y próxima a ella como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos, con la participación de agentes biológicos. También puede definirse como la alteración de las rocas en su lugar por agentes exógenos. Es un proceso estático por el cual las rocas se rompen en pequeños fragmentos, se disuelven, se descomponen, se forman nuevos minerales. Se posibilita así la remoción y el transporte de detrito, es decir, la erosión. Se manifiesta en distintos cambios físicos (descarga mecánica, carga y descarga térmica, absorción y pérdida de agua, cristalización de sales y/o hielo, etc.) y químicos (solución, oxidación, reducción, hidratación, hidrólisis, intercambio de cationes, etc.) de los minerales que constituyen las rocas. La alteración también puede ser de naturaleza endógena y responde a procesos de descomposición química y desintegración física pero se produce por acción de esfuerzos y soluciones circulantes provenientes desde el interior del macizo rocoso.

Ambas muchas veces se yuxtaponen siendo laborioso determinar la preeminencia de alguna de ellas. Independientemente de ello, geotécnicamente, ambas producen un mismo efecto: reducen la consistencia de las masas pétreas lo cual genera una disminución de la condición geomecánica del macizo rocoso. La IAEG (International Association of Engineering Geology) ha estandarizado desde el punto de vista geológico ingenieril los distintos tenores de la alteración clasificándolos de acuerdo a su intensidad en 6 grados desde A1 (rocas prácticamente inalteradas) a A6 (suelos residuales) (Dearman W, Sergeev E. y Shibakova V, 1989). Dicha clasificación fue aplicada en el estudio del macizo rocoso que nos ocupa respecto al alcance de la alteración.

B.1.1.1. Alcance de la alteración en el sitio de la presa

Así, dados además los escasos afloramientos existentes y el actual estado de las investigaciones, no es posible determinar a simple vista en el cierre específico de estudio el alcance de la meteorización/alteración del macizo rocoso.

En el área regional, en superficie las rocas se encuentran meteorizadas en general producto de la exposición del Basamento a la intemperización y revelan por su potencia (entre tres y cuatro metros) la posible existencia en el pasado de regímenes climáticos de características disímiles respecto a las actuales condiciones.

En general existen diferencias en la respuesta del macizo rocoso a la alteración de acuerdo a las características de las

rocas existentes y los procesos que sobre ellas han actuado en el transcurso de la historia geológica. Las experiencias previas en estudios similares en el área así lo corroboran (Giacconi, 2009. Flores y Giacconi, 2010).

Así, siempre a nivel regional y en áreas no visiblemente cizalladas, se ha observado la existencia por lo general de un contacto neto entre las rocas alteradas superficialmente y las que con mucho menor grado se hallan en profundidad. En tal sentido, en función del grado de alteración se han descrito rocas no alteradas o poco alteradas (A₁-A₂) subyaciendo a máximo cuatro metros de espesor de rocas con mayor grado de alteración (A₃, A₃-A₄) dispuestas más superficialmente. Este perfil de meteorización es visible en las explotaciones de canteras del Cerro Albión, en las que aún se conserva la estructura de la masa rocosa. Idéntica situación se visualizó en las áreas superficiales del macizo rocoso sujeto de la fundación de la presa del Ramal H, Tandil. (Giacconi, 2009. Flores, 2010. Flores y Giacconi, 2010. Giacconi, 2011)

En cambio, en las rocas superficiales sometidas a procesos visibles de cizallamiento, acompañados por lo general de lajosidad manifiesta, el espesor afectado por la meteorización/alteración es mucho más profundo que en el anterior caso existiendo en las rocas afectadas por cizallamiento intenso un mayor grado y mayor variabilidad de la alteración que en las rocas con menor grado de afectación, alcanzando el macizo rocoso en estas zonas de cizallamiento y meteorización yuxtapuesta, un alto grado de alteración grado A₄ (completamente alterada).

Es de destacar la observación de un rasgo consecuente morfológico particular respecto a la incidencia de la meteorización/alteración-erosión sobre el macizo rocoso en el sector toda vez que se han observado "bandeamientos" o "franjas" o "fajas" verticales a subverticales muy alteradas y parcialmente erosionadas, de escaso espesor, en contacto con roca adyacente con menor grado de alteración y erosión. Ello se debería al contacto alternante de fajas con un alto grado de fracturación y/o cizallamiento y otras adyacentes de menor magnitud.

Otra particularidad es que, en general, se observa homogeneidad de la intensidad de alteración dentro de cada uno de los campos de los diferentes grados de intensidad de cizallamiento visualizados siendo su contacto por lo general neto, no habiendo progresión entre unos y otros.

Esta modalidad afecta de manera importante la predicción de ocurrencia del alcance de la alteración. Así, se han observado zonas o fajas del macizo rocosos inclinadas vertical a subverticalmente respecto a la superficie con un grado de alteración intenso en contacto neto con áreas "paralelas" de macizo no alterado o poco alterado, siendo el alcance de la alteración en las fajas cizalladas más profundo que en las áreas no visiblemente cizalladas por lo que finalmente en los sectores no afectados por cizallamiento visible macroscópicamente la alteración disminuye en profundidad más rápidamente que en los sectores visiblemente afectados.

Esta circunstancia no predecible desde superficie variará seguramente su incidencia a lo largo del cierre de acuerdo a la progresiva que se analice y amerita que, para el caso de una presa de hormigón, los futuros estudios del macizo rocoso deban realizarse con apreciable densidad de datos geotécnicos a los fines de proyectar no sólo el plano de la fundación sino también el consecuente dimensionado de las excavaciones y los sucedáneos tratamientos de mitigación.



Figura 17. A° Blanco - Cierre 3 - Estribo margen derecha -Modelo de alteración 2: Detalle de la incidencia de la alteración entre discontinuidades- erosión de manera diferenciada.

B.1.2. Expresión morfológica de la alteración

Respecto a la forma de ocurrencia de la alteración en el área regional (Giacconi, 2009 - 2011) y en los escasos afloramientos del sitio del eje 3, en líneas muy generales, se detectaron cuatro "modelos" geológicos de macizos rocosos diferentes:

Modelo 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 pero difícilmente superior a los cuatro metros de espesor, que suprayace a la roca no alterada y que es sinuosa pero paralela/subparalela al terreno natural o superficie topográfica.

Modelo 2: La zona alterada se presenta en "fajas" menores del metro de espesor y se intercala entre rocas sanas delimitadas por discontinuidades. La alteración se produjo a expensas de las zonas de cizalla de inclinación vertical a subvertical, que han dejado importante material intersticial de zona fracturada, brecha, microbrecha, etc. siendo en superficie finalmente erosionadas. En la zona de la fundación de la presa ha sido reconocido este modelo en afloramientos, ilustrándose sobre esta última situación en la Figura 17 en margen derecha y posteriormente en la Figura 20 en margen izquierda.

Modelo 3: Variante de la anterior pero de mayores dimensiones. Corresponde a la alteración en zonas de cizallamiento de mayor envergadura (varios metros) y/o de intenso fracturamiento superficial. Roca alterada de manera intensa alcanzando incluso el grado A4 (completamente alterada) en los

niveles superficiales del macizo o presentando también en ocasiones intensa lajosidad. En margen izquierda se presenta en las áreas topográficas cóncavas que han sido sometidas a explotación como canteras de lajas no afectando "a prima facie" a la fundación del estribo de margen izquierda debido a su ubicación aguas abajo del eje de cierre. También ha sido reconocido en superficie sobre el eje presa afectando en parte a la fundación del estribo de margen derecha (Figura 18).

Modelo 4: Roca lajosa con bajo grado de alteración o no alterada (fresca). Observable en las laderas del valle del arroyo Blanco (Figura 16). En términos generales estas rocas objeto de fundación son rocas frescas o débilmente alteradas, A₁ o A₁-A₂, con cristales brillantes, observándose en general una leve decoloración del macizo en las paredes de los planos de discontinuidad. Localmente se presentan núcleos de roca, observables en afloramientos, en que la roca pasa a ser moderadamente alterada (A₂), donde la misma ha perdido su brillo por decoloración de los minerales, sin disminuir de manera manifiesta su condición geomecánica.

B.2. Estructura

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, en general la situación estructural regional se resume según tres orientaciones claramente definidas



Figura 18. A° Blanco- Cierre 3- Zona de cizalla en margen derecha. Modelo de alteración 3: de mayor grado de alteración respecto a las rocas adyacentes aflorantes.

constituyendo los dominios estructurales A, de orientación E-O; B, de orientación NE-SO y C, de orientación NO-SE.

La cataclatización de las rocas componentes y la milonitización y ultramilonitización de las mismas en fajas se deberían a la existencia de los esfuerzos dinámicos durante las fases de formacionales muy antiguas F_1 , F_2 y F_3 que dieron origen posteriormente a los citados actuales Dominios Estructurales A, B y C.

El cauce del arroyo Blanco en el área del eje de la presa y la presencia del techo de roca a cotas más bajas en ese sector estaría determinado precisamente por la existencia de estas estructuras a lo que coadyuva el grado de cizallamiento y la disímil respuesta de los cuerpos rocosos a la erosión.

Así existiría control estructural del arroyo. El rumbo general del mismo en el área específica es $N30^\circ E$. El curso general respondería a la existencia erosiva de una franja de rocas milonitizadas y alteradas al influjo de la dominación de esfuerzos F_2 (Dominio Estructural B: NE-SO) en el sector, siendo que, en general, en el sitio de la presa domina una estructura de macizo que responde fundamentalmente a la preeminencia de una amplia zona regional de fajas ultramilonitizadas de rumbo general E-O.

Las mediciones realizadas en las rocas de buena calidad geomecánica dan un elevado porcentaje de fracturas de rumbo general Este - Oeste, azimut general $N270^\circ$ (rumbo $N90^\circ O$), pudiendo variar entre este último y $N75^\circ O$, de inclinaciones subverticales y oblicuas (65°) al Norte, siendo las dominantes

en el sector. Acompañan a esta expresión de la estructura del Basamento fracturas cuyos azimuts son aproximados a $N0^\circ$, $N330^\circ$ (rumbo $N30^\circ O$) y $N30^\circ - 40^\circ$ (rumbos $N30^\circ E - N40^\circ E$) y cuyas inclinaciones son mayormente verticales a subverticales u oblicuas (35° , 45° y 65°), al OSO y ESE. Las Figuras 19 y 20 ilustran sobre estos aspectos.

De observaciones realizadas en otros sectores del área regional, a todo este complejo estructural debe agregarse la posible aunque no totalmente detectada (escasos afloramientos) existencia superficial y subsuperficial de un cuarto juego de diaclasas subhorizontales que "cortaría" a los tres sistemas anteriores y cuya inclinación podría variar entre los 3 y los 8 grados, llegando excepcionalmente hasta los 15 grados, alabeando hacia el SE o NO según los rumbos sean NE-SO, por lo general $N40^\circ E$ a $N50^\circ E$, o hacia el SO o NE según los rumbos sean NO-SE, por lo general $N30^\circ O$ a $N60^\circ O$. En el área regional, este diaclasamiento subhorizontal es importante e intenso en los niveles superficiales disminuyendo su frecuencia en profundidad siendo su origen discutido ya que algunos autores lo atribuyen a descarga denudacional mientras que otros lo atribuyen a la existencia de esfuerzos compresivos (Vidal Romani y Twidale, 1999).

El cuadro de situación estructural descripto poseería cuatro familias de discontinuidades y sería el responsable, en los niveles rocosos superficiales y subsuperficiales, de la existencia de valores de R.Q.D. bajos a muy bajos, llegando incluso a 0 % en muchos casos, aumentando su valor en profundidad una



Figura 19. A° Blanco- Margen derecha- Área del estribo. Visualización del complejo cuadro de fisuración del macizo rocoso observándose buena calidad geomecánica de la matriz rocosa entre diaclasas.



Figura 20. A° Blanco- Margen izquierda- Área del estribo. Visualización de uno de los escasos afloramientos del macizo rocoso observándose el modelo de alteración 2 entre fisuras. Las discontinuidades presentes poseen rumbos e inclinaciones que varían entre N7 5°0/vertical a N90°0'165°N.

vez atravesado el espesor de rocas meteorizadas. Así, en profundidad, en las rocas con menor grado de alteración (A_1 y A_1-A_2), es de esperar valores mayores al 75 %, llegando a valores de R.Q.D. 100 %.

Se presentan diaclasas cerradas u otras rellenas, o bien otras abiertas y erosionadas en los primeros metros (modelo de alteración 2) con presencia de espejos de fricción en algunos casos, pasando en general a diaclasas cerradas y rugosas, por lo general de 45° a mayor inclinación, a medida que aumenta la profundidad en el macizo rocoso y disminuye el grado de alteración.

Este estado de situación general que podría producirse a medida que aumenta la profundidad en el macizo, sin embargo, podría poseer sus excepciones. En concordancia con zonas de mayor alteración debida a esfuerzos dinámicos y soluciones endógenas circulantes, se han observado en rocas similares en el área regional fracturas con ligera a moderada alteración del plano de fisura, favoreciendo la pérdida de agua o bien rellenas por material blando ("jaboncillo", arcilla).

La proyección de estos contactos determinan la presencia fajas subverticales a verticales, aparentemente paralelas, entre las cuales ha quedado un área cizallada y alterada de rocas cristalinas. Se conjuga aquí la presencia de un elemento estructural de importancia a los fines de la definición de la fundación de la presa: fajas de cizalla (modelo de alteración 3).

En definitiva, podría existir sobre la traza del eje, desde el arroyo hasta cotas superiores en las laderas, áreas de rocas cizalladas y alteradas, de espesores variables pero no detectables desde superficie, en fajas cuyos rumbos generales adoptarían una disposición ligeramente oblicua ($N75^\circ O$ a $N90^\circ O$) respecto al rumbo del eje ($N110^\circ E = N70^\circ O$).

B. 3. Características geotécnicas generales del macizo rocoso

Si bien no se ha definido el tipo de presa respecto a sus materiales constituyentes (tierra u hormigón) debido a la longitud del cierre, altura posible de la presa y las características geológicas y geomorfológicas del cierre, es posible avanzar en la definición respecto a que la misma será de gravedad. En tal caso, la orientación de las estructuras geológicas dominantes constituye un factor favorable respecto a la estabilidad general.

Esta disposición casi coincidente entre el rumbo de las estructuras geológicas dominantes y el rumbo del cierre 3 y el grado de inclinación de las discontinuidades, "a prima facie" amerita un grado confiable de seguridad respecto a la estabilidad, pero es aconsejable un estudio minucioso del grado de fracturamiento y sus componentes de rumbo e inclinación de las discontinuidades por lo que se recomienda el estudio y análisis detallado de las mismas mediante proyección estereográfica utilizando la red de Schmidt. Cabe consignar que los escasos y muy parciales afloramientos existentes de rocas han impedido en la actualidad el estudio sugerido siendo muy posible que, debido a esta misma razón, dicho estudio deba ajustarse en obra del proyecto durante la futura excavación de las rocas de fundación.

Geotécnicamente, las matrices rocosas cuando se presentan inalteradas poseen un bajo tenor de deformación y una consecuente alta resistencia. Sin embargo el grado de alteración al influjo de la existencia de zonas de cizalla, frecuente lajosi- dad y la presencia de las discontinuidades (fracturamiento) son quienes determinan finalmente en el macizo rocoso la existencia de los tenores reales de la deformación y su tipo (elástica –

plástica), cuestión no posible de determinar en el actual estado de los estudios.

Respecto a la permeabilidad del macizo rocoso y a los fines de categorizar hidráulicamente al mismo, se deberán ejecutar ensayos de agua a presión (Lugeon) siendo que, además, pudiera ser factible la formación de canales preferenciales a través de los planos de lajosi- dad observados. Ello obligará a un detallado y meticuloso análisis de la pérdida de agua bajo carga hidráulica en todo el ámbito rocoso de apoyo. La existencia de elevado fracturamiento y las inclinaciones observadas y medidas en los afloramientos ameritan esta recomendación lo cual incluye que algunas perforaciones de estudio deban ser inclinadas para tratar de atravesar la fisuración principal lo mas normalmente posible a dichos planos.

En síntesis, las características descriptas de las rocas del basamento rocoso en el sector obligará muy posiblemente a un tratamiento diferenciado de la fundación con excavaciones de profundidades y tratamientos para su excavación disímiles, cuestiones éstas a dilucidarse en futuros estudios y trabajos de mayor detalle en el sitio.

CONSIDERACIONES FINALES

- a) Una interpretación muy preliminar de los datos obtenidos mediante ensayos geoeléctricos podría indicar la presencia de un marcado control estructural a través de la presencia de un zócalo rocoso discontinuo y diferencialmente más profundo, conformando el valle, dispuesto entre los bloques elevados de las laderas. Sin embargo, los estudios básicos mediante calicatas realizadas durante el relevamiento geológico y geotécnico en el área del cierre 3 indicaría la presencia de una secuencia sedimentaria de escaso desarrollo en profundidad en el ámbito de la planicie de inundación con presencia del macizo rocoso a menores profundidades que la indicada por la geoeléctrica. Coadyuva a esta incertidumbre la existencia de un conglomerado basal de respuesta resistiva similar a la de las rocas alteradas del basamento rocoso. Esta cuestión deberá validarse en etapas posteriores mediante: 1) dada la continuidad de las ondas sísmicas, la ejecución de perfiles geofísicos de refracción dispuestos ortogonalmente y 2) perforaciones geotécnicas con testificación continua a los fines de "atar" dichos perfiles y determinar las características geotécnicas específicas de los materiales subyacentes a los fines de su aplicación por parte de la ingeniería geotécnica.
- b) En la determinación de las propiedades de resistencia, deformación y permeabilidad del macizo rocoso mediante ensayos in situ o de laboratorio sobre muestras obtenidas del macizo, existen una serie de inconvenientes relacionados con la representatividad y extrapolación de los resultados obtenidos, entre los que se destacan los referidos a la escala de ensayo. Sólo son válidos y extrapolables si los volúmenes de las muestras ensayadas es igual o mayor al denominado VER: "Volumen Elemental Representativo" (González de Vallejo, 2004). Por tal razón, la metodología que se sugiere aplicar para la determinación de las características geotécnicas del macizo rocoso es la del método de las clasificaciones geomecánicas (RMR y Q), que si bien es menos preciso que los métodos analíticos resulta mas representativo del conjunto (Giacconi et al, 2009).

- c) Respecto a la sismicidad natural del área, en los proyectos de presas se debe considerar la acción sísmica que pueda afectar a la estructura en caso de terremoto de magnitud significativa. El período de retorno de los sismos de cálculo para presas depende de la sismicidad atribuida al área. Según la calificación de Riesgo Sísmico elaborada por el INPRES, la región es considerada de muy bajo riesgo sísmico. En tal sentido, según la clasificación de presas de acuerdo al Reglamento de Seguridad de Presas del Ministerio de Medio Ambiente de España, por citar un ejemplo, en las zonas de baja sismicidad no es necesaria la consideración explícita de la acción sísmica en el proyecto de presas.
- d) Respecto a la sismicidad inducida, este tipo de sismicidad se debe a fenómenos de fracturación hidráulica a favor de fallas sometidas a elevadas presiones intersticiales. Este concepto se aplica en presas o embalses de grandes dimensiones y sobre todo en zonas sísmicamente activas y debe ser tenido en cuenta y en consideración cuando el embalse alcanza los 100 metros de altura o bien cuando la capacidad de embalse es superior a 100 millones de metros cúbicos. No es este el caso.
- e) Respecto al tipo de presa y su relación al Ambiente, una presa de materiales sueltos es factible de proyectar dadas las características geotécnicas y espesores de los materiales clásticos descriptos llegándose incluso a una de carácter mixto (tierra – hormigón). Sin embargo, el grado de antropización del área y el carácter turístico del entorno y su resultante socioeconómica amerita algunas consideraciones al respecto. La necesidad de obtener materiales a los fines constructivos generaría el descubrimiento de canteras en áreas relativamente cercanas al sitio. Las cuestiones ambientales intrínsecas

inherentes (por citar un ejemplo, la alta vulnerabilidad acuífera dado el escaso espesor de la zona no saturada y el consecuente eventual ingreso de contaminantes al acuífero libre por vía directa desde las excavaciones (Giaconi, 2008)) y el impacto visual de las mismas sobre el paisaje inhiben ambientalmente cualquier intento de excavación de materiales de cantera en el ámbito. Por tal razón, es factible que se deba proyectar una presa de gravedad en hormigón que bien podría ser rolando dada la extensión del cierre en el eje 3 preliminarmente estudiado. Esta propuesta obligaría a la fundación de la misma en el macizo rocoso con lo cual se deberán utilizar voladuras para la excavación y disponer importantes volúmenes de los materiales resultantes (suelos y bloques de rocas) en un área profusamente antropizada, lo cual generaría un alto impacto ambiental, sin haberse considerado aún el impacto proveniente de la presa misma en el sitio.

Dadas las cuestiones mencionadas, se considera ambientalmente muy importante la evaluación de otro tipo de proyectos alternativos respecto a la regulación de las crecidas recurrentes en el sector. La extensión de la cuenca y sus aspectos específicos inherentes ameritan la consideración de evaluar la posibilidad de establecer más de un cierre hidráulico en la misma considerándose incluso otros tipos de presa como, por ejemplo, la realización de pequeñas presas semipermeables de gaviones dispuestas en cascada a lo largo de los cursos de las subcuencas existentes aguas arriba del cierre estudiado. Tal esquema ya fue analizado y propuesto a través de publicaciones en reuniones científicas (Giaconi et al, 2005, 2008), lo cual ameritaría la implementación de un diseño hidráulico integral alternativo acorde a las características hidrológicas y físicas del área debiéndose considerar además el sustancial menor costo económico de lo aquí propuesto (Giaconi y Sainz Trápaga, 1995, 2005).

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CALVETTY, B. 2011.
Presa del Arroyo Blanco
Informe de Geofísica mediante Geoelectrica (SEV). (Inédito).
- DEARMAN, W.R; SERGEEV, E. Y SHIBAKOVA, V. 1989.
Engineering Geology of the Earth,
Mosú.
- FLORES, R. M. 2009.
Presa del Ramal H
Informe de Ingeniería Geotécnica. (Inédito).
- FLORES, R. M. Y L. M. GIACONI. 2010.
Aspectos geotécnicos de la fundación de la Presa del Ramal H.
Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica (CAMSIG). Mendoza (Argentina).
- GIACONI, LUIS M., 2008.
"Aspectos geoambientales de Tandil. Vulnerabilidad del acuífero freático y sus implicancias ambientales".
XVII Congreso Geológico Argentino. Jujuy. Págs. 1135 – 1136.
- GIACONI, L. M. 2009.
Presa del Ramal H
Informe de Geología y Geotécnica. (Inédito).
- GIACONI, L. M. 2011.
Presa del Ramal H
Informe Complementario de Geología y Geotécnica. (Inédito).

- GIACONI, L. M. 2011.
Presa del Arroyo Blanco, Tandil
Informe preliminar de Geología y Geotécnica. (Inédito).
- GIACONI, LUIS M., GIORDANO, RICARDO E., CUMBA, ANDREA. 2008.
"Alternativa ambiental para la regulación de torrentes mediante presas de gaviones en la ciudad de Tandil".
XVII Geológico Argentino. Jujuy. Págs. 1137 - 1138.
- GIACONI, L. M., GIORDANO R. E. Y CUMBA A. 2009.
Métodos de excavabilidad para la fundación de la presa del Ramal H (Tandil).
IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología - II Reunión del Cuaternario de América del Sur. La Plata. Págs. 526 - 535.
- GIACONI, LUIS M., GUICHON, MARTÍN E., GIORDANO, RICARDO E., CUMBA, ANDREA. 2009.
"Criterios conceptuales del análisis geotécnico de macizos rocosos utilizados para la construcción de una presa de gravedad en hormigón en la cuenca del Ramal H (Tandil)".
IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología - II Reunión del Cuaternario de América del Sur. Págs. 536 - 544.
- GIACONI L. M., SAINZ TRAPAGA, J. 1995.
"Regulación de pequeñas cuencas intraserranas sin embalse permanente en las Sierras de Tandil.
Conveniencia de presas semipermeables de gaviones. Adaptación al ambiente".
Cuartas Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses. Tomo II, págs. 37 a 45. Junín. Provincia de Buenos Aires.
- GIACONI L. M., SAINZ TRAPAGA, J. 2005.
"Presas sin embalse permanente. Regulación y adaptación al ambiente".
Revista del Consejo Profesional de Ciencias Naturales de la Provincia de Buenos Aires. Año 1 - N° 2, págs. 25 a 30.
- GONZALEZ DE VALLEJO, L. I.; FERRER M.; ORTUÑO, L. Y OTEO C. 2004.
Ingeniería Geológica.
Pearson Educación S. A.. 715 pp. Madrid
- LOKE, M.H., 2000.
Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies
(A practical guide to 2-D and 3-D surveys). info@terraplus.com
- ORELLANA, E. 1982.
Prospección geoelectrica en corriente continua.
Editorial Parainfo. Madrid.
- VIDAL ROMANÍ, J. R., TWIDALE, C. R. 1999.
Sheet fractures, other stress forms and some engineering implications.
Geomorphology 31 (1999) 13 - 27. Editorial Elsevier.