PRESA DE LAMINACIÓN DE CRECIDAS
A° BLANCO (TANDIL)

GEOLOGÍA y GEOTÉCNIA
INFORME DE PREFACTIBILIDAD

Luis Mario Giaconi

Lic. en Geología

2011

INDICE TEMÁTICO

RESUMEN EJECUTIVO 3

INTRODUCCIÓN - CONSIDERACIONES GENERALES 12

ASPECTOS METODOLÓGICOS GENERALES 14

RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO PRELIMINAR DE SUPERFICIE 15

RELEVAMIENTO GEOELECTRICO 16

RELEVAMIENTO GEOLÓGICO 21
A.- CUBIERTA SEDIMENTARIA 21
A.1.- Descripción de los materiales de la cubierta sedimentaria 21
A.2.- Perfil geológico de los materiales clásticos sedimentarios 34
A.3.- Nivel acuífero 37
A.4.- Características geotécnicas materiales clásticos sedimentarios 39
B.- MACIZO ROCOSO 40
B.1.- Características litológicas 40
B.1.1.- Meteorización – Grados de alteración 41
B.1.1.1.- Alcance alteración en el sitio de la presa 42
B.1.2.- Expresión morfológica de la alteración 44
B.2.- Estructura 45
B.3.- Aspectos geotécnicos del macizo rocoso 48

RECOMENDACIONES 50

SÍNTESIS DE ESTUDIOS BÁSICOS A REALIZARSE A FUTURO 50

ANEXOS
Anexo Bibliográfico 52
Caracterización geológica y sismicidad del área 53
Análisis geotécnico – Criterios conceptuales 62
Estudio geoeléctrico (Geófisico Boris Calvetty) 68
Esquema y perfil geológico GyG 01 87

PRESA DE LAMINACIÓN DE CRECIDAS A° BLANCO (TANDIL)

GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD

2011

RESUMEN EJECUTIVO

El propósito de la presa reguladora A° Blanco es contener las crecientes torrenciales que, en ocasiones, suelen provocar anegamientos en la ciudad de Tandil ubicada aguas abajo.

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.

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

El objetivo liminar del presente estudio de prefactibilidad es determinar las características geológico-geotécnicas generales de los materiales existentes en el sector a los fines de la fundación de la presa en el denominado eje variante 3, de rumbo N110°E (Azimut N290° - N70°O) y una longitud de 352,10 m. a cota 210 m.

Esta variante de cierre 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 anteriores (cierres 1 y 2).

En el área existen antecedentes de estudios previos de topografía realizados por profesionales del Distrito Tandil de la DIPSOH avanzándose a través del presente estudio en el relevamiento topográfico de tres opciones de cierre, optándose por la variante 3 a los fines del desarrollo del presente informe.

Previamente al citado desarrollo de los perfiles topográficos, se realizó la caracterización geológica regional (en Anexo I) y luego el relevamiento superficial de la geología del cierre utilizándose como base topográfica el relevamiento antecedente. Posteriormente se avanzó en la descripción y evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas del área de localización de la indicada alternativa de cierre 3 mediante la ejecución de estudios básicos indirectos y directos.

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 la fotografía aérea satelital y la realización posterior de perfiles geoeléctricos 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's) como así también 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.

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 (Ver Plano GyG 01 en Anexo) sobre el que se proyectará en el futuro el citado cierre a través del desarrollo de sucesivas fases de proyecto.

El presente informe posee recomendaciones respecto a los métodos de auscultación de las características geotécnicas 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.

Geológicamente, 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**

En la inspección ocular desarrollada en el sitio se pudieron identificar en general 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. 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 establecidos en superficie se desarrolló un método expeditivo de rápida ejecución cual es el desarrollo de investigaciones mediante geoeléctrica. El mismo fue realizado por el Geofísico Boris Calvetty. El resultado de dicha investigación arrojó lo siguiente:

Profundidad y cota del <u>techo de roca inalterado</u> determinados mediante SEV's

Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)	Progresiva (m.)	Cota (m.)	Prof. Techo roca inalterada (m.)	Cota techo roca inalterada (m.)
1	303,93	201,67	11,00	190,67
2	260,07	199,94	16,70	183,24
3	229,49	197,97	23,70	174,57
4	189,30	196,29	26,00	170,29
5	143,84	195,24	45,00	150,24
6	114,77	195,38	46,10	149,28
7	84,76	197,02	11,50	185,52
8	56,58	199,16	11,80	187,36
9	191,93	195,87	29,10	166,77
10	168,90	195,47	26,20	169,27

A.- CUBIERTA SEDIMENTARIA

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 hasta aprox. prog. 150, 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.
- sedimentos fluviales areno gravosos de colores pardos y rojizos con presencia de bloques angulosos a subangulosos de dimensiones variables.

Nivel acuífero detectado en las calicatas

CALICATA	PROGRESIVA (m.)	Cota (m.)	Profundidad nivel estático (m.)	Cota nivel estático (m.)
CA1	279,89	201,60	1,70	199,90
CA2	235,24 (D-)	198,20	2,40	195,80
CA3	200,07	196,49	2,30	194,19
CA4	165,26 (D+)	195,04	3,00	192,04
CA5	145,69	195,30	3,50	191,80
CA6	126,08 (D-)	195,65	4,00	191,65
CA7	105,90	195,56	3,00	192,56
CA8	85,90 (D+)	197,10	4,00	193,10
CA9	65,87	198,38	No fue observado	-
PO1	45,95	199,77	No fue observado	-
CA10	45,95 (D-)	199,80	No fue observado	-
CA11	87,51 (D-)	196,78	4,00	192,78
CA12	66,36 (D-)	198,13	No fue observado	-
CA13	65,11 (D+)	199,16	No fue observado	-

Características geotécnicas generales 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.

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 a 117 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 máximo en la calicata CA3 (Prog. 200,07) de 3,90 m.

Finalmente los sedimentos fluviales infrayacentes, de los cuales no se conoce su espesor total aunque se estima en pocos metros, poseen buena condición geomecánica 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. son 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 fluviales 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.

La presencia de materiales clásticos conglomerádicos discordantes (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 geoeléctrica 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 espesor reducido de Pampeano de manera infrayacente a los sedimentos fluviales descriptos, situación de la que se deja constancia en este informe 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 geoeléctrica demarca un mayor espesor de niveles de baja resistividad, entre progresivas 90 a 260 aproximadamente.

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

Las **características litológicas** de las rocas del Basamento Cristalino Precámbrico en el sitio se determinaron sólo megascópicamente en el campo por lo que, la carencia de afloramientos superficialmente extensos como ya fue comentado y la existencia de meteorización en los existentes, dificultan de manera importante mayores consideraciones al respecto.

Macroscópicamente, las rocas dominantes en el área de fundación son rocas cristalinas milonitizadas, en parte lajosas, con presencia de rocas de grano fino de color gris oscuro. Se sugiere que en una futura etapa se realice un estudio microscópico con muestras inalteradas de testigos de roca que se obtengan de las perforaciones.

Dado los escasos afloramientos existentes, no es posible determinar a simple vista en el cierre específico de estudio el alcance de la 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.

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 con mucho menor grado que se hallan en profundidad. En tal sentido se han descripto en el área regional rocas no alteradas o poco alteradas (A_1-A_2) subyaciendo a máximo cuatro metros de espesor de rocas con mayor grado de alteración (A_3, A_3–A_4) dispuestas mas superficialmente. Este perfil de meteorización es visible en las explotaciones canteriles del Cerro Albión, en las que aún se conserva la estructura de la masa rocosa.

En cambio, respecto a las rocas sometidas a procesos visibles de cizallamiento acompañados por lo general de lajosidad manifiesta, el espesor afectado por la meteorización/alteración por lo general es mucho mas profundo que en el anterior caso existiendo, en general, en las rocas afectadas por cizallamiento intenso un mayor grado y mayor variabilidad que en las rocas con menor grado de afectación alcanzando el macizo rocoso en las zonas de cizallamiento y meteorización intensa, un alto grado de alteración tipo A_4 (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 existe bandeamiento o "franjas o fajas" verticales a subverticales muy alteradas y 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 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 mas 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 mas 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.

Respecto al análisis del **grado de la alteración** en el área regional, 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 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. En la zona de la fundación de la presa ha sido reconocido este modelo en afloramientos, ilustrándose sobre esta última situación en la siguiente fotografía.

Modelo 3: Variante de la anterior pero de mayores dimensiones. Corresponde a la alteración en zonas de cizallamiento y/o de intenso fracturamiento superficial. Roca alterada de manera intensa, como mínimo tipo A_4 (completamente alterada) en los niveles superficiales del macizo o presentando también en ocasiones intensa lajosidad. Ha sido reconocido en superficie sobre el eje presa afectando en parte a la fundación del estribo de margen derecha. En margen izquierda se podría presentar a medio faldeo 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.

Modelo 4: Roca masiva con bajo grado de alteración o no alterada (fresca). Sólo observable en canteras en la zona. En términos generales estas rocas objeto de fundación 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. Localmente se presentan núcleos de roca, observables en afloramientos, en que la roca pasa a ser moderadamente alterada (A_2), donde la misma ha perdido su brillo por decoloración de los minerales, sin ser friable.

La **estructura del macizo rocoso** responde a la existencia de un amplia zona regional de fajas ultramilonitizadas de rumbo E-O.

El cauce del arroyo Blanco en el área del eje de la presa y la presencia del techo de roca a cotas mas bajas en ese sector estaría determinado precisamente por la existencia de estas estructuras a lo que codyuva 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 aprox. N30°E. El curso general respondería a la existencia erosiva de una amplia franja de rocas milonitizadas y alteradas al influjo de la dominación de esfuerzos F_2 (Dominio Estructural B: NE-SO) en el sector.

El complejo cuadro estructural del área que se observa en las laderas del valle se continúa en el macizo rocoso por debajo de la cubierta sedimentaria de la planicie de inundación del arroyo.

Las mediciones realizadas dan un elevado porcentaje de fracturas de rumbo general Este – Oeste, azimut general N270° (rumbo N90°O), pudiendo variar entre este último y N75°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°, N330° (rumbo N30°O) y N30°- 40° (rumbos N30°E - N40°E) y cuyas inclinaciones son mayormente verticales a subverticales u oblicuas (35°, 45° y 65°), al OSO y ESE

De observaciones en otros sectores del área regional, a todo este complejo estructural debe agregarse la posible aunque no totalmente detectada existencia superficial y subsuperficial de un cuarto juego de diaclasas subhorizontales que "cortaría" a los tres sistemas anteriores y cuya inclinación podría varíar 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°E a N50°E, o hacia el SO o NE según los rumbos sean NO-SE, por lo general N30°O a N60°O.

En el área regional, este diaclasamiento subhorizontal es importante e intenso en los niveles superficiales disminuyendo su frecuencia en profundidad.

En definitiva, existiría sobre la traza del eje, desde el arroyo hasta cotas superiores en las laderas, un área o fajas de rocas cizalladas y alterados, de espesores variables pero no detectables, en fajas cuyos rumbos generales adoptarían una disposición ligeramente oblicua (N75°O a N90°O) respecto al rumbo del eje (N110°E = N70°O).

Características geotécnicas generales del macizo rocoso

Si bien no se ha definido el tipo de presa respecto a sus materiales constituyentes (tierra u hormigón) es posible debido a la longitud del cierre, altura de la presa, características geológicas y geomorfológicas del cierre, etc. avanzar en la definición respecto a que la misma será de gravedad o de gravedad alivianada. Por lo que, si bien no se avizora diseñar en el sitio del cierre 3 una presa de arco en cualquiera de sus variables en las cuales la relación de la estructura geológica del macizo rocoso con sus estribos juega un factor preponderante y decisivo de estabilidad, válido es decir que la orientación de las estructuras geológicas dominantes constituyen un factor favorable a la estabilidad general del estribo de margen izquierda por compresión y levemente desfavorable en el estribo de margen derecha por tracción.

Esta disposición casi coincidente entre el rumbo de la 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 posponerse hasta el ajuste 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 y la presencia de las discontinuidades (fracturamiento) evidenciadas en frecuente lajosidad 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 con precisión 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 lajosidad observados y la disposición de la estructura geológica dominante. Si bien en caso que se decida la construcción de una presa de hormigón, la misma no poseerá una altura por demás significativa, lo anteriormente expresado obligará a un detallado y meticuloso análisis de la pérdida de agua bajo carga hidráulica

en no sólo en los estribos sino también 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.

Tandil, 30 de noviembre de 2011.

Luis Mario Giaconi
Lic. en Geología

INTRODUCCIÓN - CONSIDERACIONES GENERALES

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.

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

El propósito de la presa reguladora A° Blanco es contener las crecientes torrenciales que, en ocasiones, suelen provocar anegamientos en la ciudad ubicada aguas abajo, tal como puede observarse en la siguiente imagen satelital.

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 azul en la imagen indica el sentido del escurrimiento fluvial y su punta el nacimiento del entubado del A° Blanco con que transcurre a través de la ciudad. Hacia el Sur del ejido se observa la ubicación del actual Dique de Fuerte. Este último lamina las crecidas extraordinarias del arroyo del mismo nombre que, también entubado, recorre la ciudad hasta la convergencia con el A° Blanco aguas abajo de la ciudad conformando juntos a partir de allí el A° Langueyú. Aunque fuera de la imagen, en el sector oriental, válido es mencionar laexistencia de la presa del ramal H en proceso final de construcción. La misma laminará las crecidas de la cuenca del mismo nombre hasta su entrada al ducto fluvial ramal H. Este desemboca finalmente en el ducto del A° del Fuerte en la intersección de la calle Maipú y la avenida Santamarina.

Entubado de hormigón del A° Blanco previo a su desarrollo a través de la ciudad de Tandil.

Curso del A° Blanco previo al comienzo del entubado de hormigón.
Progresiva ducto 183,13 m. - Cota techo del ducto (círculo rojo en la fotografía) = 195,87 m.

PRESA DEL A° BLANCO - GEOLOGÍA y GEOTECNIA

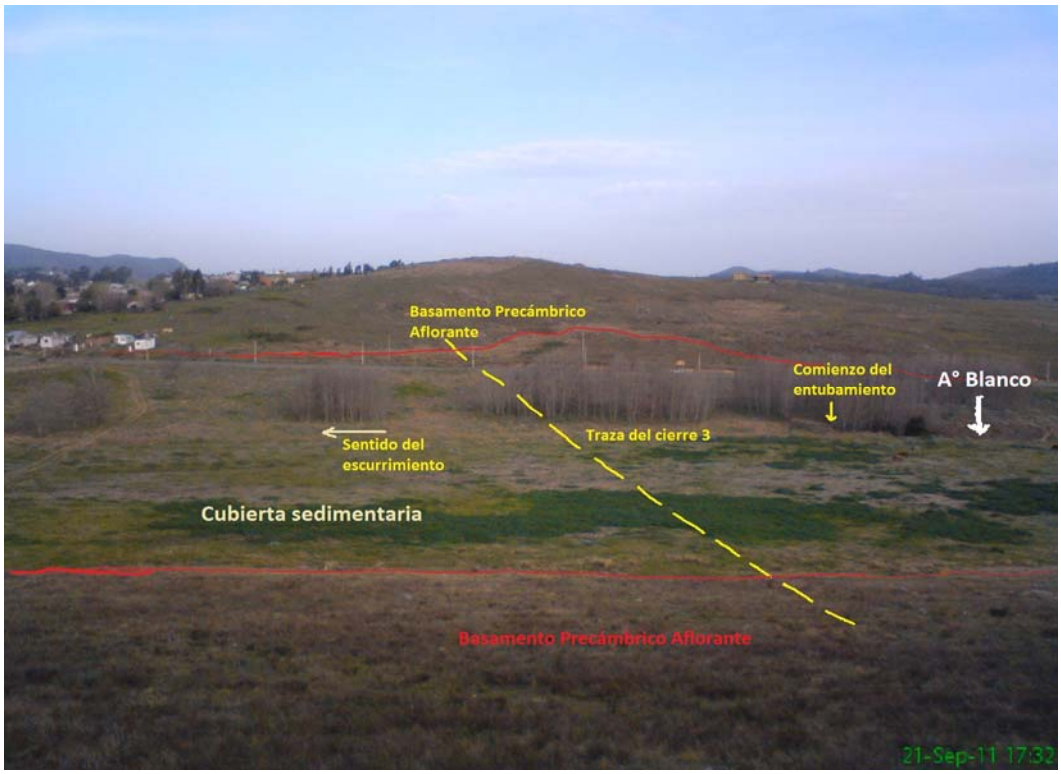
OBJETIVO

El objetivo liminar del presente estudio de prefactibilidad es determinar las características geológico-geotécnicas generales de los materiales existentes en el sector a los fines de la fundación de la presa en el denominado eje variante 3, de rumbo N110°E (Azimut N290° - N70°O) y una longitud de 352,10 m. a cota 210 m..

ASPECTOS METODOLÓGICOS GENERALES

En el área existen antecedentes de estudios previos de topografía realizados por profesionales del Distrito Tandil de la DIPSOH avanzándose a través del presente estudio en el relevamiento topográfico de tres opciones de cierre, optándose por la variante 3 a los fines del desarrollo del presente informe. Esta variante de cierre 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 anteriores (cierres 1 y 2).

Previamente al citado desarrollo de los perfiles topográficos, se realizó la caracterización geológica regional (en Anexo I) y luego el relevamiento superficial de la geología del cierre utilizándose como base topográfica el relevamiento antecedente. Posteriormente se avanzó en la descripción y evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas del área de localización de la indicada alternativa de cierre 3 mediante la ejecución de estudios básicos indirectos y directos.



Fotografía del área de interés en el A° Blanco. Vista de la traza del cierre 3 donde es posible reconocer el comienzo del entubado de hormigón aguas arriba del cierre observándose la presencia del Basamento Precámbrico aflorante en ambas márgenes del valle y el contacto superficial de la cubierta sedimentaria que lo suprayace en el ámbito de la planicie de inundación del arroyo.

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 la fotografía aérea satelital y la realización posterior de perfiles geoeléctricos 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's) como así también 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 fotografía anterior.

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 (Ver Plano GyG 01 en Anexo) sobre el que se proyectará en el futuro el citado cierre a través del desarrollo de sucesivas fases de proyecto.

El presente informe posee recomendaciones respecto a los métodos de auscultación de las características geotécnicas 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.

RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO PRELIMINAR DE SUPERFICIE

De las observaciones realizadas a "prima facie" y tal como puede observarse en la fotografía anterior 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 en profundidad.

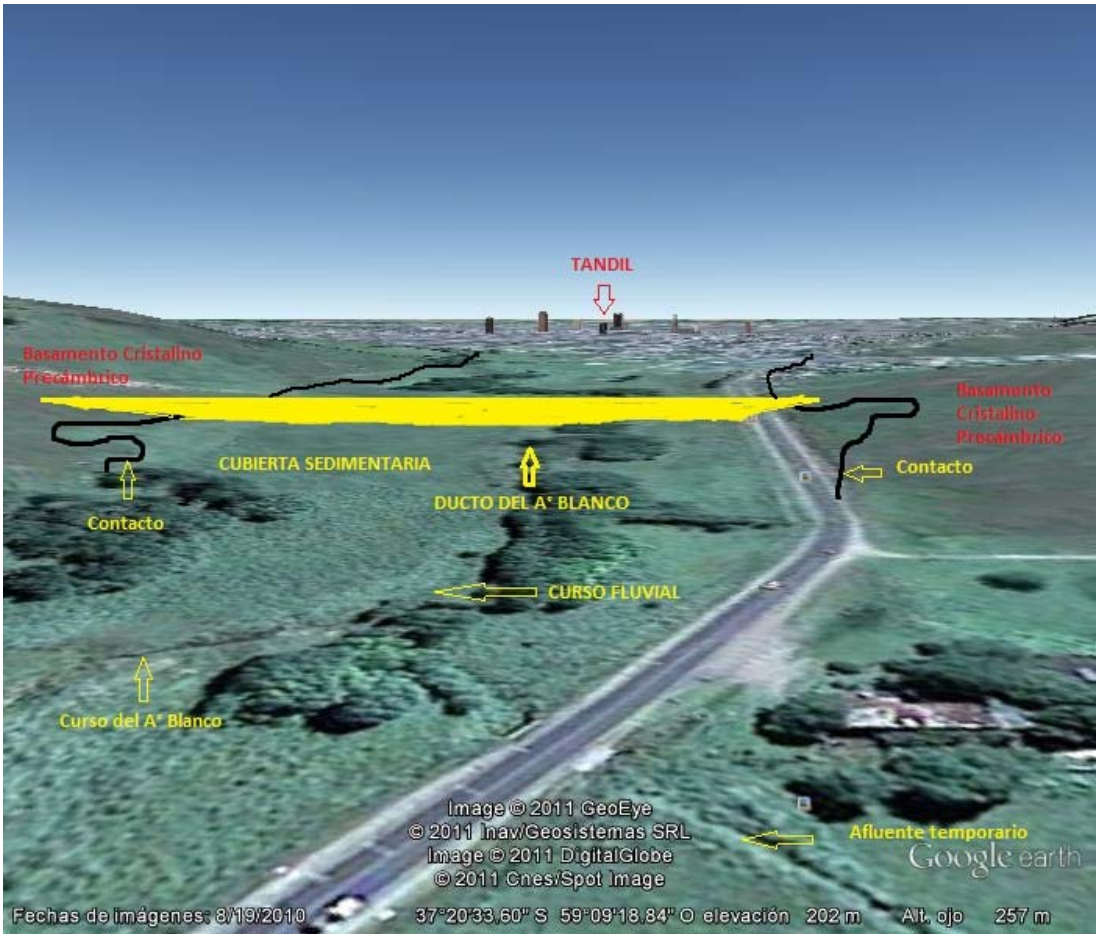
De todas formas, existen en superficie en el sitio de cierre y en el área del futuro embalse temporario, dos componentes geológicos:

- **A.- Cubierta sedimentaria de la planicie de inundación**

  En la inspección ocular desarrollada en el sitio se pudieron identificar en general 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. Afloran en las laderas del valle encontrándose subyacentes a la cubierta sedimentaria a lo largo del cierre.

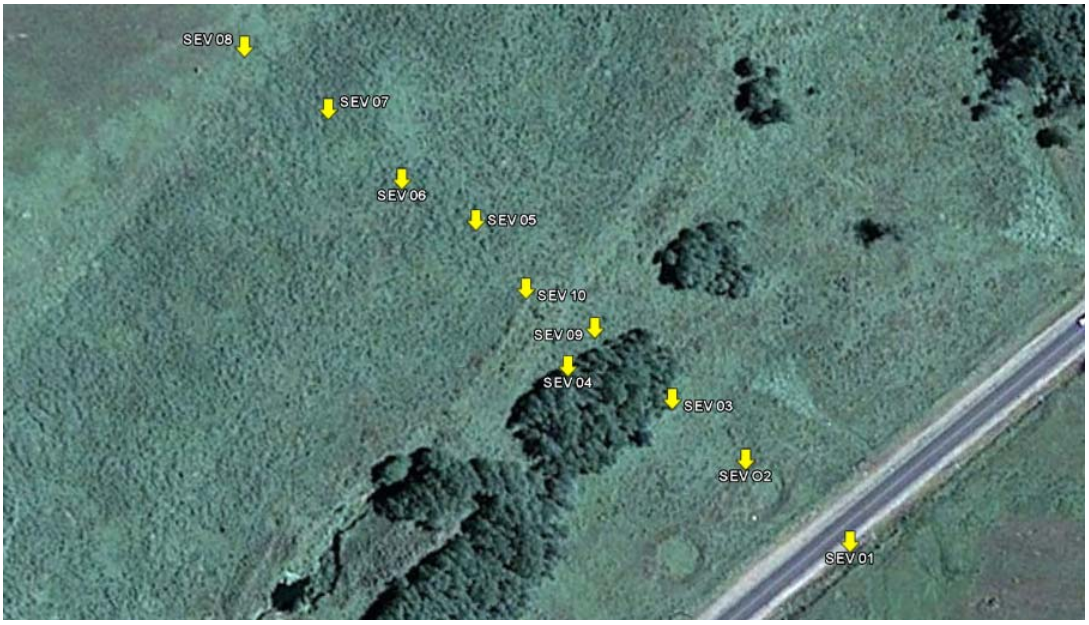


Vista de la disposición de los dos componentes geológicos dominantes: Basamento Cristalino Precámbrico en ambas laderas del valle y la Cubierta Sedimentaria ocupando el planicie de inundación del arroyo Blanco.

A los fines de conocer la distribución en profundidad de los dos componentes establecidos en superficie mediante las auscultaciones visuales se desarrolló un método expeditivo de rápida ejecución cual es el desarrollo de investigaciones mediante geoeléctrica cuyas características principales a continuación se exponen siendo que el texto completo del estudio se encuentra en anexo. Su autor es el geofísico Boris Calvetty.

RELEVAMIENTO GEOELECTRICO

Se midieron 10 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) de entre 80 y 125 m de ala y una línea de tomografía eléctrica de 200 metros de longitud, siendo la finalidad del estudio es la de evaluar las variaciones de la profundidad del basamento a lo largo de la traza del mencionado cierre 3.

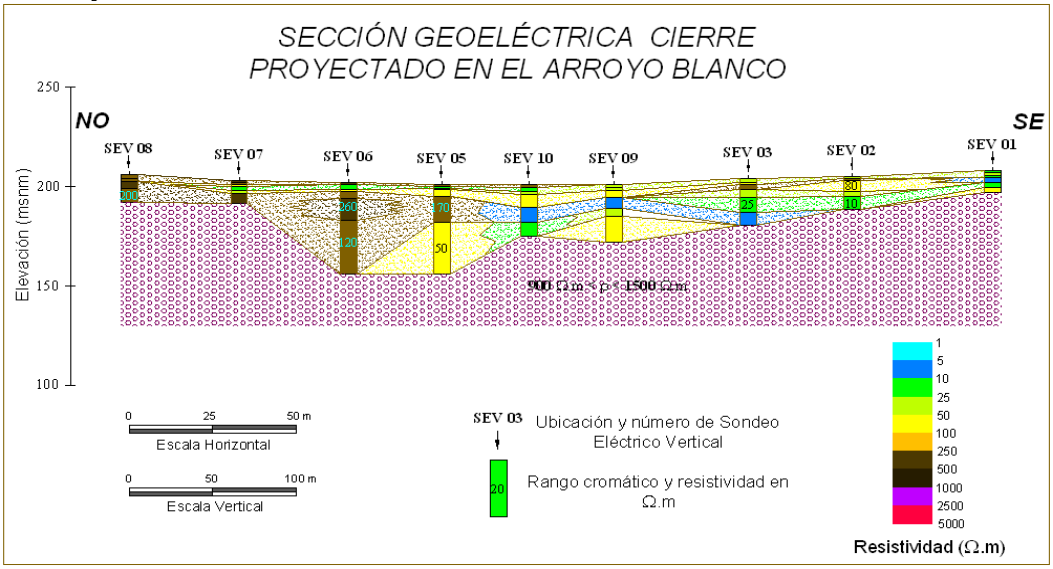


Ubicación de los 10 SEV medidos sobre la traza proyectada

LA SECCIÓN GEOELÉCTRICA (SEV's)

Si se observan los datos del Anexo, puede advertirse que en los 10 SEV medidos se define un sustrato de alta resistividad, el que se correspondería con el basamento compacto y cuya profundidad varía entre los 11 m de los extremos del perfil y los 46 m de los SEV 05 y 06.

No obstante, en los cuatro SEV´s del sector NO 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, medido prácticamente sobre afloramientos. Diferentes son las condiciones en el sector SE del perfil, donde el material sedimentario se apoyaría directamente sobre el basamento inalterado, con espesores que llegarían hasta los 26 m en el SEV 10, ubicado prácticamente sobre el cauce del arroyo, y valores de 23 y 16 m en los SEV 03 y 02.



Sección Geoeléctrica obtenida a partir de los SEV

Profundidad y cota del techo de roca inalterado determinados mediante SEV's

Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)	Progresiva (m.)	Cota (m.)	Prof. Techo roca inalterada (m.)	Cota techo roca inalterada (m.)
1	303,93	201,67	11,00	190,67
2	260,07	199,94	16,70	183,24
3	229,49	197,97	23,70	174,57
4	189,30	196,29	26,00	170,29
5	143,84	195,24	45,00	150,24
6	114,77	195,38	46,10	149,28
7	84,76	197,02	11,50	185,52
8	56,58	199,16	11,80	187,36
9	191,93	195,87	29,10	166,77
10	168,90	195,47	26,20	169,27

LA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

En este caso los datos se obtuvieron mediante un arreglo multielectródico lineal con base en el dispositivo de Wenner para obtener un perfil eléctrico del terreno en dos dimensiones pasible de ser interpretado en términos geológicos (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).

Figura A: Ubicación del perfil de la Tomografía Wenner

Las mediciones se realizaron con el mismo instrumento utilizado para los SEV, completándose el equipo con dos manojos de cables para la conexión de los 21 electrodos de acero con revestimiento de cobre del dispositivo básico, conectados a un conmutador externo que permite la lectura de los valores de corriente y potencial para el cálculo de la ρ_a en cada una de las 63 posiciones requeridas.

Modelos bidimensionales (2D)

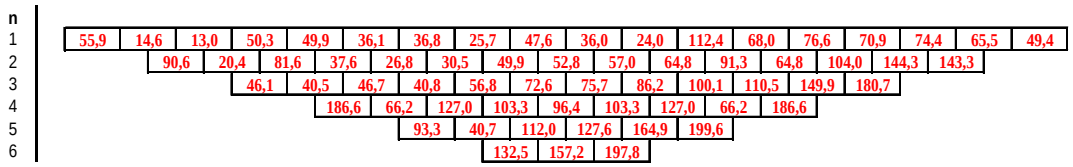


Fig. B: Valores de la resistividad aparente obtenidos en el Perfil.

Efectuadas las mediciones, lo que se tiene como dato es una grilla vertical con valores de la resistividad aparente como el de la Figura B. 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 electródico tetrapolar y su ubicación vertical, o pseudoprofundidad, proporcionalmente a la separación electródica.

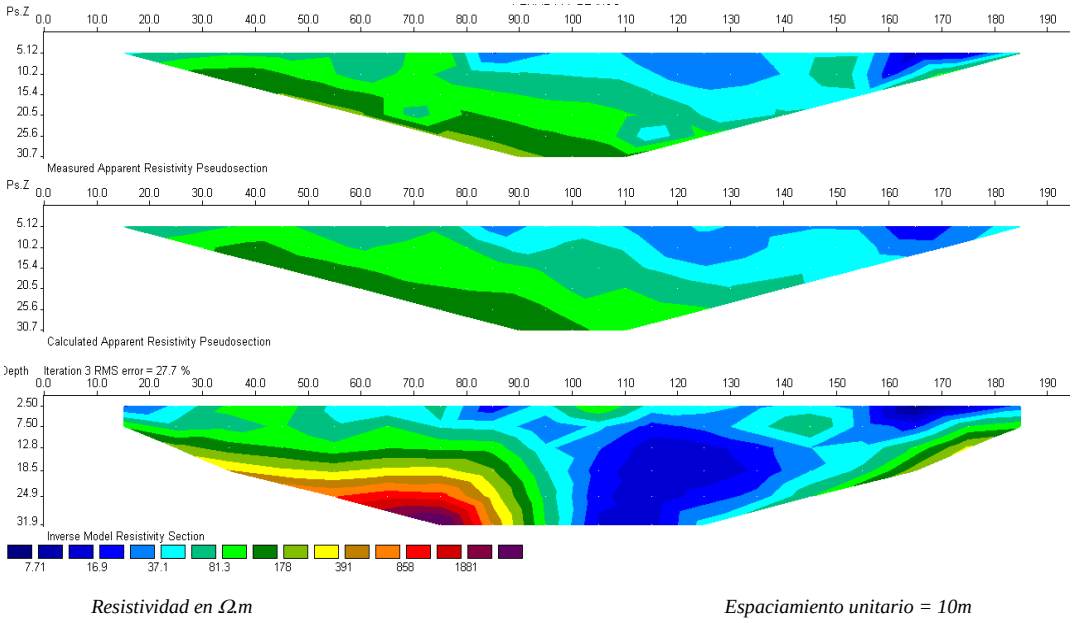
El procesamiento subsiguiente se efectuó en gabinete aplicando el programa RES2DINV versión 3.54 (Geotomo Software, Malaysia), para lo cual, tanto la ubicación de los electrodos como los valores de resistividad aparente son introducidos en un archivo de texto que pueda ser leído por el programa.

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 C), que es obtenida por interpolación entre los valores de resistividad aparente obtenidos (los que muestra la Figura B), es decir, presenta en forma gráfica y de manera muy conveniente los valores de la resistividad aparente obtenidos, proporcionando un cuadro apenas aproximado de la distribución de la resistividad verdadera del subsuelo puesto que es un cuadro distorsionado debido a que las formas de las isolíneas dependen del tipo de arreglo utilizado tanto como de la resistividad verdadera del subsuelo.*

Por tanto, sería un error intentar utilizar "esta" pseudosección 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 C) 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 C) 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 resisitividad aparente calculados sean próximos a lo valores medidos.



Resistividad en Ω.m *Espaciamiento unitario = 10m*

Fig. C: Imagen eléctrica obtenida con el dispositivo Wenner

En el presente caso, el modelo obtenido (parte inferior de la Figura C) muestra un esquema de resistividades que corresponden al perfil dibujado en la imagen de la Figura A, que se extiende entre la ubicación del SEV 7 y un punto intermedio entre los SEV 2 y 1.

*Según se observa en la escala de profundidades tiene una penetración máxima de 31,9 m y analizado considerando la escala cromática de resistividades, valores que pueden asociarse al basamento próximo se dan en los extremos del perfil, hacia el NO entre el inicio del perfil y hasta la progresiva 90 de la Fig. C (donde se midió el SEV 10 (*Progresiva en cierre topográfico 3 = aprox. 170*)) sector en el que 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. Y algo similar podría decirse para el sector del extremo SE. Sin una referencia directa, podría interpretarse que recién a partir de esta profundidad se encontraría basamento consolidado, pero que en ambos sectores por encima de esa profundidad 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 Fig. C (que contiene a los SEV 9 y 10 – (Progresivas en cierre topográfico 3 = aprox. 170 a 210)*) que coincide con el cauce del arroyo, no se dan resistividades superiores a los 100 ohmios/m hasta la máxima penetración de la sección, más aún, entre las progresivas 105 y 115 de la Fig. C* (Progresivas en cierre topográfico 3 = aprox. 185 a 195) *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 hay evidencias de basamento ni siquiera alterado.

RELEVAMIENTO GEOLÓGICO

En base base a las conclusiones del informe de geoeléctrica, a las determinaciones del reconocimiento geológico de superficie y a los perfiles litológicos de las calicatas ejecutadas a lo largo del cierre 3 y, tal como se puede observar en el esquema y perfil geológico adjunto GyG 01 en anexo, existen en el sitio de cierre y en el área del futuro embalse temporario, 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 fluviales.

- **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.- CUBIERTA SEDIMENTARIA

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 hasta aprox. prog. 150, 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 constituídos por:

- Materiales arcillosos de colores oscuros.

- sedimentos eólicos limo arenosos finos, de colores pardo rojizos.

- sedimentos fluviales areno gravosos de colores pardos y rojizos con presencia de bloques angulosos a subangulosos de dimensiones variables.

A.1.- 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 los materiales que subyacen a la cubierta mencionada. La profundidad de la investigación en esta etapa de los estudios se encuentra limitada al alcance del brazo del equipo de excavación.

Las calicatas fueron realizadas con equipo retroexcavador a lo largo del eje del cierre 3 disponiéndose las mismas en base a un diagrama en tres bolillo tratando de abarcar una superficie de aprox. 30 metros de ancho.

Correspondiendo la expresión D- al desplazamiento de la calicata 15 metros hacia aguas arriba respecto al eje y D+ a la misma acción pero hacia aguas abajo, la disposición de las mismas fue la siguiente:

CALICATA	PROGRESIVA (m.)	Cota (m.)
CA1	279,89	201,60
CA2	235,24 (D-)	198,20
CA3	200,07	196,49
CA4	165,26 (D+)	195,04
CA5	145,69	195,30
CA6	126,08 (D-)	195,65
CA7	105,90	195,56
CA8	85,90 (D+)	197,10
CA9	65,87	198,38
PO1	45,95	199,77
CA10	45,95 (D-)	199,80
CA11	87,51 (D-)	196,78
CA12	66,36 (D-)	198,13
CA13	65,11 (D+)	199,16

Se describen a continuación los perfiles litológicos de las calicatas realizadas en el cierre 3 (Ver Plano GyG 01 en Anexo):

Calicata 1 (Sobre el eje del cierre 3 en prog. 279,89 – Cota 201,60 m.)

Calicata 1: Bajo 1,15 m. de suelo vegetal, se observa la presencia de sedimentos de origen eólico: limo arenoso fino de color pardo rojizo hasta 3,90 m. de profundidad. Por debajo y hasta 4,90 m. se disponen sedimentos fluviales constituidos por arenas medianas a gruesas de composición cuarzo feldespática con clastos angulosos inalterados a poco alterados de hasta 1,5 cm. de diámetro de color gris verdoso.

Calicata 1: Material limo arenoso fino de origen eólico extraído entre 1,15 m. y 3,90 m. de profundidad.

Calicata 1: Se observa el material limo arenoso fino de origen eólico y las arenas gravosas fluviales en primer plano.

Calicata 2 (desplazada 15 m. aguas arriba del eje del cierre 3 en prog. 235,24 – Cota 198,20 m.)

Calicata 2: Bajo 0,75 m. de suelo vegetal, se observa la presencia de sedimentos de origen eólico: limo arenoso fino de color pardo rojizo hasta 4,20 m. de profundidad.

Calicata 2: Se observa el perfil de la excavación constituido por suelos vegetal hasta 0,75 m. de profundidad y el material limo arenoso fino de origen eólico que lo subyace hasta el final de la excavación a 4,20 m. de profundidad.

Calicata 2: Se observa el material limo arenoso fino de origen eólico.

Calicata 3 (Sobre el eje del cierre 3 en prog. 200,07 – Cota 196,49 m.)

Calicata 3: Bajo 0,60 m. de suelo vegetal y hasta 4,50 m. de profundidad, presencia de sedimentos de origen eólico: limo arenoso fino de color pardo rojizo. A partir de allí y hasta 4,70 m. de profundidad, presencia de sedimentos fluviales constituidos por arena fina a mediana de composición Qz – feldespática con presencia de bloques de composición granítica, angulosos, de hasta 30 cm. de longitud, en menor proporción.

Calicata 3: Material limo arenoso fino pardo rojizo suprayaciendo a materiales areno gravosos de origen fluvial.

Calicata 3: Bloques angulosos de forma tabular correspondiéndose con la roca madre que les dio origen, rocas metamórficas de composición granítica.

Calicata 4 (desplazada 15 m. aguas abajo del eje en prog. 165,26 – Cota 195,04 m.)

Calicata 4: 1,00 m. de suelo vegetal. Hasta 4,30 m. de profundidad, presencia de sedimentos de origen eólico: limo arenoso fino de color pardo rojizo. A partir de allí y hasta final de la excavación (4,50 m. de profundidad), presencia de sedimentos fluviales constituidos por arena fina a mediana de composición Qz – feldespática con presencia de bloques de composición granítica, angulosos, de colores rojizos, gris verdosos, de hasta 60 cm. de largo. Presencia de abundante agua en el fondo de la calicata a partir de los 4 metros de profundidad.

Calicata 4: Presencia de 3,30 m. de sedimentos eólicos limo arenosos finos suprayaciendo a sedimentos fluviales areno gravosos. Abundante agua en el fondo de la excavación.

Calicata 4: A partir de 4,30 m.: material areno gravoso con bloques de hasta 60 cm de diámetro.

Calicata 5 (sobre el eje del cierre 3 en prog. 145,69 – Cota 195,30 m.)

Calicata 5: 1,00 m. de relleno antrópico (ex basural). Hasta 3,50 m. de profundidad, presencia de sedimentos de origen eólico: limo arenoso fino de color pardo rojizo. A partir de allí y hasta 4,20 m. de profundidad, presencia de sedimentos fluviales constituidos por arena fina a mediana de composición Qz. – feldespática con presencia de bloques de composición granítica, angulosos, de colores rojizos, gris verdosos, algunos esquistosos y lajosos, de hasta 40 cm. de largo. Presencia de abundante agua en el fondo de la calicata a partir de los 3,5 metros de profundidad.

Calicata 5: Materiales eólicos de comp. limo arenosa fina suprayaciendo a materiales fluviales permeables.

Calicata 5: Presencia de bloques de hasta 40 cm de diámetro en matriz arenosa de origen fluvial.

Calicata 6 (desplazada 15 m. aguas arriba del eje en prog. 126,08 – Cota 195,65 m.)

Calicata 6: 1,50 m. de relleno antrópico (ex basural). Por debajo y hasta 4,00 m. de profundidad, presencia de sedimentos de origen eólico: limo arenoso fino de color pardo rojizo. A partir de allí y hasta el final de la excavación (4,50 m. de profundidad), presencia de sedimentos fluviales constituidos por arena fina a mediana de composición Qz. – feldespática con presencia de bloques de composición granítica, angulosos, de colores rojizos, gris verdosos, algunos esquistosos y lajosos, de hasta 40 cm. de largo. Presencia de abundante agua en el fondo de la calicata a partir de los 4 metros de profundidad.

Calicata 6: Vista de los sedimentos limo arenosos suprayaciendo a los sedimentos fluviales de composión areno gravosa. Nótese el agua subterránea en el fondo de la calicata.

Calicata 6: Detalle del material fluvial que se encuentra por debajo de los 4,00 m. donde se encontrado la presencia de bloques de composición granítica en matriz sedimentaria arenosa.

Calicata 7 (sobre el eje del cierre 3 en prog. 105,90 – Cota 195,56 m.)

Calicata 7: 1,50 m. de relleno antrópico (ex basural). Desde 1, 50 m. a 2,50 m.: Limo arcilloso algo plástico, de color negro. Desde 2,50 m. hasta 4,00 m. de profundidad, presencia de sedimentos de origen eólico: limo arenoso fino de color pardo rojizo. A partir de allí y hasta el final de la calicata, a 4,50 m. de prof., presencia de sedimentos fluviales constituidos por arena fina a mediana de composición Qz. – feldespática con abundante presencia de bloques de composición granítica, angulosos, de colores rojizos, gris verdosos, algunos esquistosos y lajosos, de hasta 60 cm. de largo. No se observó presencia de agua.

Calicata 7: Vista de los materiales limo arenosos de 1,5 m. de espesor suprayaciendo a materiales areno gravosos de origen fluvial.

Calicata 7: Detalle de la abundancia de bloques de composición granítica en material arenoso de tipo fluvial. Indicios de Basamento cercano ???

Calicata 8 (desplazada 15 m. aguas abajo del eje en prog. 85,90 – Cota 197,10 m.)

Calicata 8: 1,75 m. de relleno antrópico (ex basural). Desde 1,75 m. a 4,30 m.: Arcilla limosa plástica, de color negro. Por debajo y hasta la finalización de la calicata, presencia del basamento precámbrico muy alterado. Presencia de arcilla de color gris pardo, húmeda, producto de la alteración del basamento y rocas lajosas esquistosas de color gris oscuro (frescas) y amarillentas (alteradas).

Calicata 8: Presencia de 2,55 m. de espesor de materiales arcillosos plásticos de color oscuro que suprayacen a las rocas del basamento cristalino precámbrico.

Calicata 8: Detalle del material extraído del sector inferior de la calicata correspondiente a rocas del Basamento Cristalino.

Calicata 9 (sobre el eje del cierre 3 en prog. 65,87 – Cota 198,38 m.)

Calicata 9: 0,9 m. de relleno antrópico (ex basural). De 0,90 m. a 1,00 m.: Suelo vegetal enterrado. A partir de 1,00 m de profundidad, presencia de las rocas del Basamento Cristalino Precámbrico.

Calicata 9: Bajo 1,00 m. de materiales de alto límite líquido, se observa la presencia de rocas del Basamento Precámbrico.

Punto observación 1 (PO1) (sobre eje del cierre 3 en prog. 45,95 – Cota 199,77 m.)

Punto observación 1 (PO1): Presencia de rocas metamórficas del basamento rocoso precámbrico bajo 30 cm. de suelo vegetal. Lo mismo ocurre en la calicata 10 ubicada en la misma progresiva y aprox. misma cota pero desplazada 15 metros aguas arriba del eje del cierre 3.

Calicata 10 (desplazada aguas arriba del eje en prog. 45,95 – Cota 199,80 m.)

Calicata 10: Hasta 0,30 m. de profundidad: suelo vegetal. A partir de 0,30 m de profundidad, presencia del basamento precámbrico.

Calicata 11 (desplazada 15 m. aguas arriba del eje del cierre 3 en prog. 87,51 – Cota 196,78 m.) - ubicada en aprox. misma prog. y cota que CA8

Calicata 11: 1,75 m. de relleno antrópico (ex basural). Desde 1,75 m. a 2,50 m.: Limo arcilloso plástico, de color negro. De 2,50 m. a 4,50 m. presencia de sedimentos eólicos pardo rojizos. Desde 4,50 m. hasta la finalización de la calicata, presencia del basamento precámbrico muy alterado. Presencia de arcilla de color gris pardo, húmeda, producto de la alteración del basamento y rocas lajosas esquistosas de color gris oscuro (frescas) y amarillentas (alteradas). Presencia de agua en la excavación.

Calicata 11: Se observa el material fino de color oscuro suprayaciendo a las rocas del Basamento, al igual que en la calicata 8 ubicada a 30 metros aguas abajo en la misma progresiva y cota.

Calicata 11: en aprox. misma progresiva que la calicata 8 pero 15 metros aguas arriba del eje del cierre. Detalle del Basamento Precámbrico alterado.

Calicata 12 (desplazada 15 m. aguas arriba del eje del cierre 3 en prog. 66,36 – Cota 198,13 m.) - ubicada en aprox. misma prog. y cota que CA9

Calicata 12: 1,5 m. de relleno antrópico (ex basural). Desde 1,5 m. a 2,70 m.: Limo arcilloso algo plástico, de color negro. A partir de 2,70 m.: presencia del basamento precámbrico. No se observa agua en la excavación.

Calicata 12: ubicada en la aprox. misma progresiva y cota que la calicata 9 pero 15 metros aguas arriba del eje del cierre. Basamento alterado a 2,70 m. de profundidad.

Calicata 13 (desplazada 15 m. aguas abajo del eje del cierre 3 en prog. 65,11 – Cota 199,16 m.) - ubicada en aprox. misma prog. y cota que CA9

Calicata 13: 1,5 m. de relleno antrópico (ex basural). Desde 1,5 m. a 1,90 m.: Limo arcilloso algo plástico, de color negro (suelo vegetal enterrado). A partir de 1,90 m.: presencia del Basamento Precámbrico. No se observa agua en la excavación.

Calicata 13: Ubicada en la aprox. misma progresiva y cota que la calicata 9 pero desplazada 15 metros aguas abajo del eje del cierre. Basamento precámbrico metamórfico alterado a 1,90 m. de profundidad.

Calicata 13: ubicada en la aprox. misma progresiva y cota que la calicata 9 pero desplazada 15 metros aguas abajo del eje del cierre. Vista del material rocoso del basamento precámbrico metamórfico extraído a partir de 1,90 m. de profundidad.

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

Integrados los perfiles de cada una de las calicatas descriptas a lo largo del perfil del cierre 3, se obtiene un perfil cuya gráfica se inserta en el plano y perfil geológico anexo.

Esta cubierta sedimentaria clástica se encuentra yuxtapuesta a las rocas del basamento en toda la planicie de inundación del arroyo.

o 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) hasta el contacto con la ladera izquierda (Progresiva 45) compuesta por material rocoso del Basamento Precámbrico, poseyendo la particularidad que, en margen izquierda, desde aprox. prog. 60 hasta aprox. prog. 150, 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 constituídos por:

- **A.2.2.- Materiales arcillosos de colores oscuros.**

Estos materiales fueron detectados en las calicatas entre las progresivas 60 a aprox. 120. 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 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 arenosa fina, algo arcillosa, de color pardo amarillento a pardo rojizo, de origen eólico, atribuídos 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 (Prog. 235,24) donde no se alcanzó el piso de estos depósitos, el máximo espesor se verifica en la CA3 (Prog. 200,07) 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 aprox. Prog. 77.

La edad de estos depósitos si correspondieran a la Fm Vela sería atribuibles al Pleistoceno medio (entre 780.000 a 125.000 años de antigüedad). Si correspondieran a la Fm Barker serían mas antiguos, atribuibles en este caso al Plioceno – Pleistoceno Inferior (entre 2.500.000 a 780.000 años)

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

Estos sedimentos clásticos por su posición en secuencia responden su origen a corrientes fluviales anteriores al Pampeano. La textura de estos depósitos fluviales 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 arenosa gruesa a mediana, subangulosos y de redondez media 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 los procesos fluviales.

Embocadura del ducto del A° Blanco (aguas arriba del cierre 3). Único perfil donde se visualizan parcialmente los sedimentos fluviales infrayacente a los sedimentos eólicos del Pampeano (limos arenosos de color pardo amarillento a pardo rojizos). En el caso de esta fotografía se interpreta que los sedimentos gruesos son productos fluviales con aparente presencia mayoritaria de bloques subangulosos a angulosos de composición granítica en escasa matríz psamítica (arenosa). Tal condición textural se podría interpretar como que la roca madre (Basamento Cristalino) se encuentra en las proximidades conformando estos depósitos fluviales lo que se conoce como Conglomerado Basal.

El espesor de estos materiales clásticos no ha sido posible determinarlo 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 aprox. De todas maneras se estima en general un espesor total de pocos metros para estos materiales conglomerádicos.

Investigaciones posteriores mas 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 geoeléctrico arrojan resultado sobre la existencia de un macizo rocoso en condiciones de inalterabilidad a alta profundidad relativa.

La presencia de materiales clásticos conglomerádicos discordantes (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 geoeléctrica 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 espesor reducido de Pampeano de manera infrayacente a los sedimentos fluviales descriptos, situación de la que se deja constancia en este informe 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 geoeléctrica demarca un mayor espesor de niveles de baja resistividad, entre progresivas 90 a 260 aproximadamente.

A.3.- Nivel acuífero

Las características del nivel acuífero detectado en las investigaciones responde básicamente a las características del tipo freático, ignorándose la presencia de algún nivel acuífero que responda 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 constatarse su existencia, esta ocurrencia sería local.

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 cabe vez que se excavaron los materiales fluviales 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 hacia margen izquierda.

El nivel acuífero se desarrolla en manto en la planicie de inundación hasta las proximidades de la progresiva 62 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 se deba a esta ocurrencia.

Desde el análisis de la relación hidrodinámica agua superficial – agua subterránea, si bien no ha sido investigado, 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 quién alimenta o influye sobre la capa subterránea, proceso común en áreas de cabeceras de valles.

La presencia de nivel acuífero determina la necesidad de preveer bombeo del agua desde las excavaciones.

Finalmente, los niveles de agua detectados en las calicatas ejecutadas responden a las siguientes profundidades:

Nivel acuífero detectado en las calicatas

CALICATA	PROGRESIVA (m.)	Cota (m.)	Profundidad nivel estático (m.)	Cota nivel estático (m.)
CA1	279,89	201,60	1,70	199,90
CA2	235,24 (D-)	198,20	2,40	195,80
CA3	200,07	196,49	2,30	194,19
CA4	165,26 (D+)	195,04	3,00	192,04
CA5	145,69	195,30	3,50	191,80
CA6	126,08 (D-)	195,65	4,00	191,65
CA7	105,90	195,56	3,00	192,56
CA8	85,90 (D+)	197,10	4,00	193,10
CA9	65,87	198,38	No fue observado	-
PO1	45,95	199,77	No fue observado	-
CA10	45,95 (D-)	199,80	No fue observado	-
CA11	87,51 (D-)	196,78	4,00	192,78
CA12	66,36 (D-)	198,13	No fue observado	-
CA13	65,11 (D+)	199,16	No fue observado	-

A.4.- Características geotécnicas generales 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.

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 a 117 con un espesor máximo detectado de 2,55 m. en 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 máximo en la calicata CA3 (Prog. 200,07) de 3,90 m.

Finalmente, los sedimentos fluviales infrayacentes, de los cuales no se conoce su espesor, poseen buena condición geomecánica 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. son 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 fluviales 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.

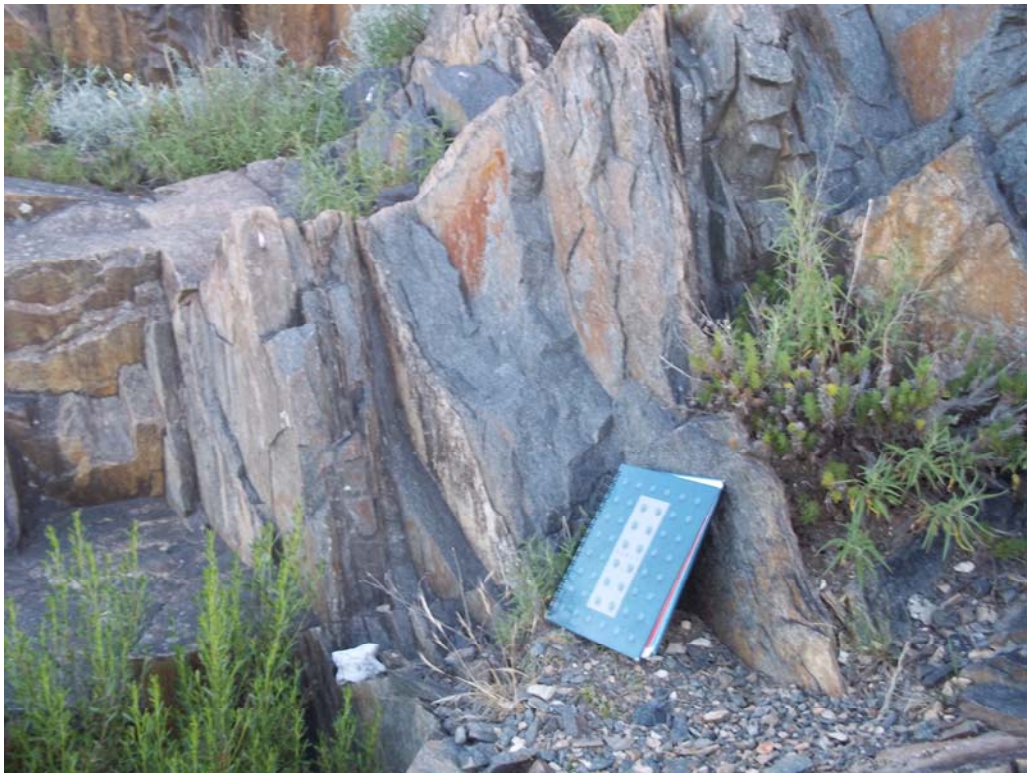
B.- MACIZO ROCOSO

B.1.- Características litológicas

Las características litológicas de las rocas del Basamento Cristalino Precámbrico en el sitio se determinaron sólo megascópicamente en el campo por lo que, la carencia de afloramientos superficialmente extensos como ya fue comentado y la existencia de meteorización en los existentes, dificultan de manera importante mayores consideraciones al respecto.

Macroscópicamente, las rocas dominantes en el área de fundación son rocas cristalinas milonitizadas, en parte lajosas, con presencia de rocas de grano fino de color gris oscuro. Se sugiere que en una futura etapa se realice un estudio microscópico con muestras inalteradas de testigos de roca que se obtengan de las perforaciones.

Las matrices rocosas se presentan en parte inalteradas o poco alteradas. Sin embargo y a pesar de los escasos afloramientos existen diferentes grados de alteración al influjo de zonas de cizalla con presencia de discontinuidades (fracturamiento) evidenciadas en frecuente lajosidad. Estas condiciones son quienes determinan finalmente en el macizo rocoso la existencia de los tenores reales de la deformación y su tipo (elástica – plástica)..



A° Blanco - Margen derecha - Rocas de grano muy fino de color gris oscuro con presencia de lajosidad aparente.

A° Blanco - Margen derecha - Rocas de grano muy fino de color gris oscuro (Detalle).

B.1.1.- Meteorización – Grados de alteración

La meteorización es la desintegración física y descomposición química de las rocas en la superficie terrestre o próxima a ella como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos, con la participación de agentes biológicos.

También puede definirse como la descomposición de las rocas en su lugar. 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.

La meteorización reduce o altera la consistencia de las masas pétreas lo cual genera una disminución de la condición geomecánica del macizo rocoso.

Esta alteración se manifiesta en distintos cambios físicos (descarga mecánica, carga mecánica y térmica, absorción y pérdida de agua, cristalización de sales, etc.) y químicos (solución, oxidación, reducción, hidratación, hidrólisis, intercambio de cationes, lixiviación, etc.) de los minerales que constituyen las rocas del basamento.

La clasificación de la alteración de rocas desde el punto de vista geológico ingenieril se ha realizado según la estandarización de la IAEG (lnternacional Association of Engineering Geology) en Engineering Geology of the Earth, Dearman W, Sergeev E. y Shibakova V, Moscú. 1989. Se expone en el siguiente cuadro:

CLASIFICACIÓN	INTERNACIONAL	Publicado en Engineering

ALTERACIÓN DE ROCAS	ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY	Geology of Earth, Dearman W., Sergeev E. y Shibakova V.. Moscú. 1989
TÉRMINO	DESCRIPCIÓN	GRADO
Fresca	No hay signos visibles de alteración. Quizás una débil decoloración en las superficies de las discontinuidades mayores.	A1
Débilmente Alterada	El material puede encontrarse decolorado por alteración ya sea en su masa como en las discontinuidades.	A2
Moderadamente Alterada	Menos de la mitad de la masa rocosa esta descompuesta o alterada como un suelo.	A3
Muy Alterada	Mas de la mitad de la masa rocosa esta descompuesta o alterada como un suelo.	A4
Completamente Alterada	Toda la masa rocosa esta descompuesta o desintegrada como un suelo. La estructura de la masa rocosa esta básicamente conservada.	A5
Suelo Residual	Toda la masa rocosa se ha convertido en suelo. Se ha destruido su textura y estructura. Se manifiesta un importante cambio de volumen, pero el suelo resultante no ha sufrido transporte	A6

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

Dado los escasos afloramientos existentes, no es posible determinar a simple vista en el cierre específico de estudio el alcance de la 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 dísimiles 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.

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 con mucho menor grado que se hallan en profundidad. En tal sentido se han descripto en el área regional rocas no alteradas o poco alteradas (A_1-A_2) subyaciendo a máximo cuatro metros de espesor de rocas con mayor grado de alteración (A_3, A_3–A_4) dispuestas mas superficialmente. Este perfil de meteorización es visible en las explotaciones canteriles del Cerro Albión, en las que aún se conserva la estructura de la masa rocosa.

En cambio, respecto a las rocas sometidas a procesos visibles de cizallamiento acompañados por lo general de lajosidad manifiesta, el espesor afectado por la meteorización/alteración por lo general es mucho mas profundo que en el anterior caso existiendo, en general, en las rocas afectadas por cizallamiento intenso un mayor grado y mayor variabilidad que en las rocas con menor grado de afectación alcanzando el macizo rocoso en las zonas de cizallamiento y meteorización intensa, un alto grado de alteración tipo A_4 (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 existe bandeamiento o "franjas o fajas" verticales a subverticales muy alteradas y 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 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 mas 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 mas 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.

B.1.2.- Expresión morfológica de la alteración

Finalmente, del análisis del grado de la alteración en el área regional, 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 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. En la zona de la fundación de la presa ha sido reconocido este modelo en afloramientos, ilustrándose sobre esta última situación en la siguiente fotografía.

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

Modelo 3: Variante de la anterior pero de mayores dimensiones. Corresponde a la alteración en zonas de cizallamiento y/o de intenso fracturamiento superficial. Roca alterada de manera intensa, como mínimo tipo A_4 (completamente alterada) en los niveles superficiales del macizo o presentando también en ocasiones intensa lajosidad. Ha sido reconocido en superficie sobre el eje presa afectando en parte a la fundación del estribo de margen derecha. En margen izquierda se podría presentar a medio faldeo 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. Ilustra sobre la presencia de este modelo la fotografía que sigue.

A° Blanco – Cierre 3 - Zona de ciza margen derecha. Modelo de alteración 3: Área de mayor grado de alteración que las rocas aflorantes adyacentes.

Modelo 4: Roca masiva con bajo grado de alteración o no alterada (fresca). Sólo observable en canteras en la zona. En términos generales estas rocas objeto de fundación 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. Localmente se presentan núcleos de roca, observables en afloramientos, en que la roca pasa a ser moderadamente alterada (A_2), donde la misma ha perdido su brillo por decoloración de los minerales, sin ser friable.

B.2.- Estructura

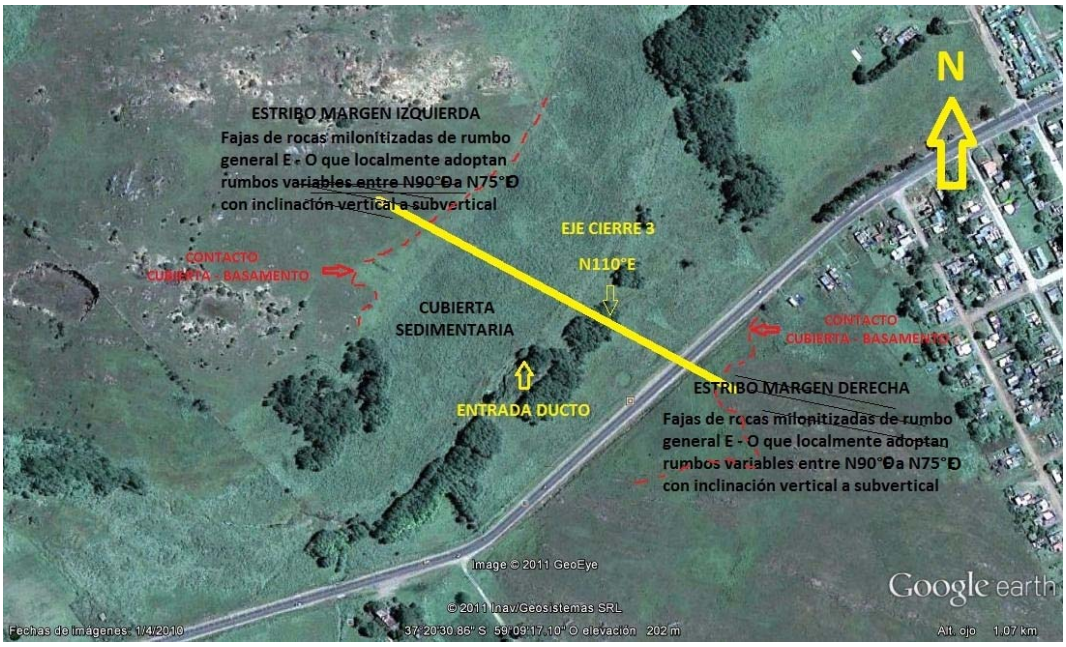
La estructura del macizo rocoso responde a la existencia de un amplia zona regional de fajas ultramilonitizadas de rumbo E-O.

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.

La cataclatización de las rocas componentes y la milonitización y ultramilonitización de las mismos en fajas se deberían a la existencia de los esfuerzos dinámicos durante las fases deformacionales 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 mas bajas en ese sector estaría determinado precisamente por la existencia de estas estructuras a lo que codyuva 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 aprox. N30°E. El curso general respondería a la existencia erosiva de una amplia franja de rocas milonitizadas y alteradas al influjo de la dominación de esfuerzos F_2 (Dominio Estructural B: NE-SO) en el sector.



A° BLANCO – Estructura del Basamento Cristalino Precámbrico. Existencia de fajas de rocas milonitizadas de rumbo general E – O en ambos estribos pertenecientes a la fase deformacional mas antigua F_1. El curso del arroyo en el sector responde a la fase deformacional F_2 (NE – SO), existiendo también en los afloramientos rocosos de los estribos diaclasamiento N30°O perteneciente a la fase deformacional mas joven F_3 (NO – SE)

El complejo cuadro estructural del área que se observa en las laderas del valle se continúa en el macizo rocoso por debajo de la cubierta sedimentaria de la planicie de inundación del arroyo.

Las mediciones realizadas dan un elevado porcentaje de fracturas de rumbo general Este – Oeste, azimut general N270° (rumbo N90°O), pudiendo variar entre este último y N75°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°, N330° (rumbo N30°O) y N30°- 40° (rumbos N30°E - N40°E) y cuyas inclinaciones son mayormente verticales a subverticales u oblicuas (35°, 45° y 65°), al OSO y ESE

De observaciones en otros sectores del área regional, a todo este complejo estructural debe agregarse la posible aunque no totalmente detectada existencia superficial y subsuperficial de un cuarto juego de diaclasas subhorizontales que "cortaría" a los tres sistemas anteriores y cuya inclinación podría varíar 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°E a N50°E, o hacia el SO o NE según los rumbos sean NO-SE, por lo general N30°O a N60°O.

En el área regional, este diaclasamiento subhorizontal es importante e intenso en los niveles superficiales disminuyendo su frecuencia en profundidad. Las razones que originan este comportamiento se esgrimen en la caracterización regional, en Anexo.

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

A° Blanco – Margen izquierda – Area del estribo. Visualización de uno de los escasos afloramientos del macizo rocoso observándose el modelo de alteración 2 entre fisuras cuyo rumbo e inclinación varía de N75°O/vertical a N90°O/65°N.

El cuadro de situación estructural descripto poseería cuatro familias de discontinuidades y sería el responsable de la existencia de R.Q.D. de valores bajos a muy bajos, llegando incluso a 0 % (cero %) en muchos casos, en los niveles rocosos superficiales y subsuperficiales aumentando su valor en profundidad una 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 % pertenecientes mayormente a tres familias de discontinuidades de rumbos estimados, en función de lo observado en superficie, NE-SO, NO-SE y E-O.

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, se han observado en rocas similares 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 en perfil 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, existiría sobre la traza del eje, desde el arroyo hasta cotas superiores en las laderas, un área o fajas de rocas cizalladas y alterados, de espesores variables pero no detectables, en fajas cuyos rumbos generales adoptarían una disposición ligeramente oblicua (N75°O a N90°O) respecto al rumbo del eje (N110°E = N70°O).

B.3.- Aspectos geotécnicos del macizo rocoso

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 las zonas de cizalla y la presencia de las discontinuidades (fracturamiento) evidenciadas en frecuente lajosidad 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 con precisión en el actual estado de los estudios.

Si bien no se ha definido el tipo de presa respecto a sus materiales constituyentes (tierra u hormigón) es posible debido a la longitud del cierre, altura de la presa, características geológicas y geomorfológicas del cierre, etc. avanzar en la definición respecto a que la misma será de gravedad o de gravedad alivianada. Por lo que, si bien no se avizora diseñar en el sitio del cierre 3 una presa de arco en cualquiera de sus variables en las cuales la relación de la estructura geológica del macizo rocoso con sus estribos juega un

factor preponderante y decisivo de estabilidad, válido es decir que la orientación de las estructuras geológicas dominantes constituyen un factor favorable a la estabilidad general del estribo de margen izquierda por compresión y levemente desfavorable en el estribo de margen derecha por tracción.

Esta disposición casi coincidente entre el rumbo de la 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 posponerse hasta el ajuste en obra del proyecto durante la futura excavación de las rocas de fundación.

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 lajosidad observados y la disposición de la estructura geológica dominante. Si bien en caso que se decida la construcción de una presa de hormigón, la misma no poseerá una altura por demás significativa, lo anteriormente expresado obligará a un detallado y meticuloso análisis de la pérdida de agua bajo carga hidráulica en no sólo en los estribos sino también 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.

RECOMENDACIONES

SÍNTESIS DE ESTUDIOS BÁSICOS A REALIZARSE A FUTURO

Se deberán ejecutar perforaciones verticales (en la planicie de inundación) e inclinadas (en las laderas) dispuestas longitudinalmente a lo largo del eje del cierre cuya longitud es de 352,1 metros. Se prevee dentro de una misma etapa, una primera fase de realización de 7 (siete) perforaciones y en función de los resultados de las mismas, la ejecución en una segunda fase de hasta 5 (cinco) perforaciones adicionales. El total de metros a ejecutarse se infiere en 300 metros, distribuyéndose 120 m. en roca y y el resto en suelos.

Para ello se utilizarán los siguientes sistemas de perforación:

- Perforación con sistema odex (entubado simultáneo) en materiales de cobertura de características no rocosas.
- Extracción de testigos en roca preferentemente en diámetro HQ. En su defecto utilizar diámetros NQ o NXL.

En cada una de las perforaciones, se realizar las siguientes determinaciones:
En suelos:
- Descripción textural normalizada. Descripción detallada del perfil con obtención de profundidad y cota de cambios texturales – techo de roca.
- Recuperación de muestras sedimentarias (suelos al objeto ingenieril)
- Ensayos SPT en los suelos finos cada metro de avance y/o cambio litológico, según Norma IRAM 10517/90.
- Ensayos de permeabilidad Lefranc cada 2 metros y/o cambio litológico (lo que ocurra primero), mediante el Método de Lefranc-Mandel a nivel constante y variable siguiendo la Norma IRAM 10531.
En roca:
- Descripción litológica normalizada. Descripción detallada del perfil con obtención de profundidad y cota de cambios litológicos o estructurales y alteración de roca.
- Recuperación normal de testigos.
- Recuperación modificada de testigos (RQD)
- Ensayos de pérdida de agua Lugeon en intervalos no mayores o igual a 5 metros, cuestión que se determinará en el momento de ejecución de las tareas en función del perfilaje litológico. Calcular unidades Lugeon para cada intervalo de presión, según Norma IRAM 10532 y determinar tipo de flujo previo a la categorización del ensayo en UL.

Sobre testigos de perforaciones, en laboratorio:

- Ensayos de ultrasonido, según NORMA ASTM O 2845 - 90.
- Ensayos de comprensión uniaxial y módulo de elasticidad.

Cabe acotar que si bien el uso de calicatas debería ser de uso preferencial para el estudio de materiales de construcción, dada los escasos afloramientos geológicos se optará por esta variante de auscultación como método expeditivo de conocimiento. Se prevee la realización con retroexcavadora de 25 calicatas en aquéllos puntos del cierre, del área del futuro embalse y del canal de restitución a los fines de determinar el espesor y las

características de los materiales no rocosos suprayacentes, sean éstos de características sedimentarias naturales o antrópicas, y el techo de roca. En ellas se deberá realizar la descripción textural de los sedimentos suprayacentes al lecho rocoso y se extraerán eventualmente en sectores de interés muestras inalteradas o alteradas en función del tipo de ensayo de laboratorio a realizarse.

En laboratorio de manera standard sobre todas las muestras extraidas de suelos, se determinará:

- Humedad natural (Wn)
- Granulometría (según normas IRAM 10512/77).
- Límites de Atterberg: determinación de los límites líquidos y plásticos siguiendo las normas IRAM 10501/69 e IRAM 10502/68.
- Con los datos obtenidos con este último ensayo y el de granulometría se clasificarán los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

- Si el tipo de presa a construirse lo ameritara, eventualmente se podrá disponer de la realización de ensayos Proctor Std. sobre muestras disturbadas fundamentalmente en los suelos limo arenosos finos de color pardo amarillento a pardo rojizo (Pampeano). Ello obligará a un estudio de canteras de dicho material que bien podría realizarse en el área del futuro vaso si los volúmenes necesarios fueran acotados.

Con la información así obtenida mas las determinaciones y relevamientos específicos geológico geotécnicos, algunos explicitados y otros que se determinen, a través de un futuro estudio de mayor detalle, se detectarán las unidades litoestructurales componentes del cierre y, una vez realizado ello, en caso de fundarse sobre roca se aplicarán clasificaciones geomecánicas a los fines de la clasificación geotécnica del macizo para finalmente exponer el o los tipo/s de excavación gruesa durante la construcción, el estudio de la estabilidad de los taludes de excavación y las medidas de mitigación de la fundación mediante tratamientos: excavación fina y tratamiento dental (en el caso de fundación en roca), drenajes e inyecciones.

Tandil, 30 de noviembre de 2011.

Luis Mario Giaconi
Lic. en Geología

ANEXO BIBLIOGRÁFICO

RECOPILACION BIBLIOGRAFICA CARACTERIZACIÓN GENERAL

- BORRELLO, A.V., CINGOLANI, C.A. y MENDEZ, E.J.. 1969. Bosquejo geotectónico del territorio bonaerense y zonas adyacentes. Actas Cuartas Jornadas Geológicas Argentinas. Bs. As.. P g. 91 a 97.
- DALLA SALDA, Luis; SPALLETTI, Luis; POIRÉ, Daniel ; DE BARRIO, Raúl ; ECHEVESTE, Horacio ; BENIALGO, Alfredo. 2006. Tandilia. Temas de Geología Argentina I. INSUGEO, Serie Correlación Geológica, 21: 17-46. Págs. 17 a 45.
- FIDALGO F., DE FRANCESCO F.O. y PASCUAL, R.. 1975. Geología superficial de la llanura bonaerese. Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino. P g. 103 a 108.
- FUENTES, J.G.. 1970. Significado de las novedades petrológicas del Basamento Cristalino de Olavarría, Prov. de Buenos Aires, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires. 25 (3). P g. 311 a 318.
- GAGO TONÍN ING. CONSULTORES. Estudio geológico superficial Ramal H.. L. M. GIACONI. 1994.
- HALPERIN, M. y LINARES,E.. 1970. Edad rubidio-estroncio de las rocas graníticas del Basamento Cristalino del área de Olavarría, Prov. de Buenos Aires, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Buenos Aires. 25 (3). P g. 303 a 306.
- HOLMBERG, E.. 1972. Tandilia. Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba. P g. 364 a 393.
- NAGERA, J.J.. 1940. Historia física de la Provincia de Buenos Aires, 1. Tandilia. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Humanidades. Biblioteca de Humanidades. La Plata. 24.
- TERUGGI, M.E. y KILMURRAY, J.O.. 1980. Sistema Septentrional de la Provincia de Buenos Aires. Geología Regional Argentina. Vol. II. Córdoba. P g. 919 a 965.

RECOPILACION BIBLIOGRAFICA INFORME DE GEOLOGÍA y GEOTÉCNIA

- ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO MEDIO DE BLOQUES, UN COMPLEMENTO PARA EL CALCULO DEL INDICE RQD. MICELI y SALEH. 2009. INÉDITO.
- GAGO TONÍN ING. CONSULTORES. Estudio geológico superficial Ramal H.. L. M. GIACONI. 1994.
- GEOTECNIA Y CIMIENTOS. JIMENEZ SALAS y JUSTO ALPAÑES. EDITORIAL RUEDA. 1975
- INFORME DE GEOLOGÍA Y GEOTECNIA. RAMAL H. TANDIL. LIC. DI SALVO. 2003.
- INGENIERÍA GEOLÓGICA. GONZÁLEZ DE VALLEJO. EDITORIAL PEARSON.2003.
- ING. POL. INFORME PERFORACIONES. RAMAL H. 1999.
- PERFORACIONES y SONDEOS. H. CAMBEFORT. EDITORIAL OMEGA. 1975
- PLIEGO DE BASES Y CONDICIONES PRESA RAMAL H. 2005
- PUBLICACIONES DE LA INTERNACIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY (IAEG).

ANEXO I
Caracterización geológica y sismicidad del área

Caracterización geológica del área

La cuenca del A° Blanco se ubica en Tandilia (Nágera, 1940) o en las también denominadas Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires (Harrington, 1965), mas precisamente en las Sierras de Tandil. Cabe destacar que Dalla Salda et al, (2006) utilizan nuevamente la denominación Tandilia para identificar a estas sierras.

Tandilia, la región mas estable del país, junto a la isla Martín García y el oeste de Uruguay componen el Cratón del Río de la Plata (Dalla Salda et al, 1988) y su plataforma. Se caracteriza por su gran antigüedad, larga historia geológica, diversidad de rocas ígneo-metamórficas (basamento cristalino), estructuras, una cubierta neoproterozoica-eopaleozoica (no presente en el área del estudio) y una cubierta clástica cenozoica (Cuaternaria). Corre con un rumbo general noroeste-sudeste unos 350 km. desde Olavarría hasta Mar del Plata.

El cordón serrano es discontínuo y de relieve general bajo ensanchándose en su zona central hasta unos 60 km. Se reconocen tres grupos serranos principales: Olavarría-Sierras Bayas-Azul hacia el noroeste, Tandil-Barker en el sector central y Balcarce-Lobería-Mar del Plata en el sector. En todos ellos el basamento cristalino se encuentra expuesto, pero parcialmente cubierto en los extremos por las sedimentitas neoproterozoicas del Grupo Sierras Bayas (al noroeste) y las eopaleozoicas de la Formación Balcarce (al sudeste). Estas sedimentitas no se encuentran presentes en el área del estudio.

En el sector central, mas precisamente hacia el sureste y suroeste de la ciudad de Tandil y en la cuenca en estudio, se observa la presencia del frente serrano cuyo exponente geográfico mas importante es el cerro Albión. Este frente se halla compuesto por bloques diferenciales del Basamento Cristalino Precámbrico expuestos por fallas del alto ángulo a la manera de Horsts y Gravens.

El Basamento Cristalino presenta bloques fracturados por fallas de alto ángulo con fuertes rechazos verticales. Este cuadro domina el sistema estructural, siendo la Orogenia Andina la que *reactivo viejos planos estructurales* (Teruggi et al, 1975), y, por lo tanto, es la estructura del Basamento la que determina una geomorfología caracterizada por sierras, cerros y amplios valles.

El sistema de valles que se produjo durante el levantamiento de las sierras quedó posteriormente subyaciendo a los depósitos del cenozoico, Pampeano y Postpampeano, que cubrieron "tapizando" toda la región constituyendo la actual topografía de suaves lomadas. En los dispersos afloramientos donde se ha podido observar la sedimentación del Cuaternario se concluye que la misma se desarrollo en condiciones estructurales estables.

Durante la elevación de los bloques la erosión actuó primordialmente en las zonas de mayor debilidad, coincidentes con las zonas de mayor fracturación, por lo que las formas y disposición de las elevaciones actuales, en general, están controladas por las estructuras del Basamento. Las corrientes de agua fueron agentes erosivos muy importantes que actuaron en estas zonas de debilidad originando redes de drenaje de tipo consecuente. La red de drenaje actual, posterior a la depositación de los sedimentos cuaternarios, se implantó sobre el diseño anterior aunque sus características en cuanto a las dimensiones son reducidas si se las compara con el tamaño de los valles por

donde transcurren teniendo en cuenta, además, que la búsqueda de los niveles de base en la actualidad se desarrollan sobre las rocas cristalinas del Basamento o bien sobre sedimentos modernos cenozoicos del Pampeano y Postpampeano (Cuaternario). Consecuentemente, la red de drenaje en la zona de estudio responden en general al condicionamiento que les impone la estructura dominante del Basamento.

En definitiva en el área de estudio se advierten dos componentes principales:

- Basamento Cristalino Precámbrico
- Cubierta Clástica Sedimentaria Cuaternaria

Basamento Cristalino Precámbrico

El Basamento Cristalino constituye el lecho o zócalo rocoso regional.

Las dataciones radimétricas realizadas por investigadores de la Universidad Nacional de La Plata atribuyen al Precámbrico la existencia de las rocas del Basamento Cristalino.

En Tandilia, Dalla Salda et al (2006), describen regionalmente al Basamento Cristalino como *las rocas proterozoicas mas australes de América del Sur indicando una evolución geológica prolongada, principalmente dentro del ciclo Transamazónico (2200 a 1800 Ma). El basamento cristalino está integrado regionalmente por gneises graníticos a tonalíticos, migmatitas, anfibolitas y plutones graníticos, escasos esquistos, mármoles y rocas ultramáficas. Se destacan anchos y largos cinturones miloníticos y rocas metavolcánicas, mostrando un enjambre de diques de diabasas, señalando su estabilización hacia 1700 Ma, siendo que la Orogenia Transamazónica se interpreta como producto de un evento colisional continente-continente sugerido precisamente por la presencia de los leucogranitos, los cinturones miloníticos, las rocas oceánicas y el apilamiento cortical en la región.*

Mas detalladamente los citados autores expresan también que las rocas del basamento cristalino de Tandilia, denominadas Complejo Buenos Aires (Marchese y Di Paola, 1975), *son una típica asociación de rocas ígneo-metamórficas de gneises graníticos a tonalíticos, migmatitas, anfibolitas, esquistos, mármoles y plutones de granitoides, con escasas rocas metavolcánicas (ácidas y básicas) y diques básicos tardíos y discordantes. Anchos cinturones miloníticos llaman la atención por su desarrollo.*

Mas precisamente en la región central de las Sierras de Tandil (Fig. 1), Dalla Salda et al, 1992) reconocen la presencia de granitoides que se distribuyen en dos áreas preferenciales, una de las cuales, *a lo largo de una faja septentrional de rumbo este-oeste que tiene como centro la ciudad de Tandil,* se encuentra asociada al área de estudio y posee implicancia directa en el fines de la caracterización geológica.

> *La faja septentrional asociada a rocas miloníticas se caracteriza por una gran variación composicional entre tonalítica y granítica. Los granitoides parecen formar parte de un cuerpo mayor constituido por múltiples plutones gregarios menores, emplazados en varias fases. Los Cerros Tandileufú (canteras San Luís, Tandileufú y San Lino) y Los Nogales se caracterizan por rocas*

tonalíticas, que en la cantera San Luis se asocian a granitos, granodioritas y a milonitas grises. Hacia el oeste, en la cantera Tandileufú, en el extremo norte del cerro homónimo, reaparecen las tonalitas grises también asociadas a granitos; allí la milonitización es abundante y los granitos heterogéneos, muestran zonas de grano más grueso ricas en feldespato potásico, alternando con otras más finas. Las variaciones composicionales son de contactos netos pero no muestran relaciones de intrusividad. "Las rocas granudas constituyen grandes lentes o fajas relictuales de cataclasis. En la cantera San Lino se reconocen dos variedades de granitoides grises, uno claro y otro oscuro, éste último es de composición tonalítica y está contenido en espesas fajas de milonitas grises y rosadas. Otras rocas tonalíticas afloran en el área del Cerro Los Nogales, asociadas a abundantes aplitas y pegmatitas de texturas granudas…". Cingolani et al, (2002) ha datado a las tonalitas de El Calvario y alrededores de la ciudad de Tandil *en edades de 2234, 2166, 2183 y 2228 Ma, U-Pb, SHRIMP*

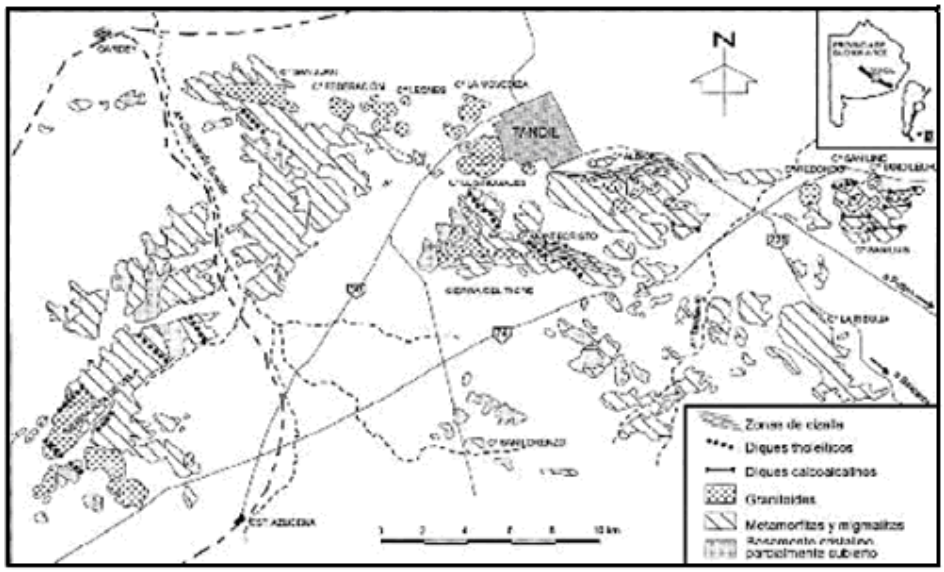


Fig. 1: Mapa geológico mostrando la distribución de las principales metamorfitas y plutones graníticos en los alrededores de la ciudad de Tandil (Dalla Salda et al, 2006).

Respecto a las zonas de cizalla y la presencia de milonitas, en Tandilia se han reconocido largas y amplias zonas de cizalla que afectan las rocas del basamento cristalino. De las dos principales, una de ellas, *la de la ciudad de Tandil al sudeste aflora por unos 25 km desde el Cerro Albión hasta la Sierra del Tigre (Dalla Salda, 1981); su orientación también es este-oeste, aunque hay ramificaciones oeste-noroeste.*

Estas fajas de cizalla están compuestas por milonitas, protomilonitas y cataclasitas; estas últimas principalmente en los laterales y en tabiques menos deformados dentro de las zonas de cizalla. Se ha registrado una blastesis feldespática vinculada a estas rocas cizalladas; en menor medida hay blastesis de anfíboles, así como deformaciones posteriores. Estas rocas se describieron como derivadas principalmente de granitoides (González Bonorino et al., 1956, Teruggi y Kilmurray, 1975, 1980).

En la faja de cizalla del Cerro Albión, D´Angiola et al. (1992) encontraron indicadores cinemáticos que les posibilitaron interpretar un movimiento de tipo destral. La edad de la zona de cizalla de la Sierra del Tigre-Cerro Albión, hasta el momento sólo puede acotarse en un amplio lapso temporal. En la zona de la cantera Las Pircas (oeste del Cerro Albión) parte del protolito de las rocas miloníticas corresponde a intrusivos andesíticos similares a los datados por Teixeira et al. (2002) alrededor de 2000 Ma;

Respecto a los diques básicos en Tandilia, y mas específicamente a la existencia de los mismos ligados al área de estudio, fueron descriptos bloques de composición diabásica en el material clástico yuxtapuesto a las rocas del basamento en el área del futuro embalse, aunque los mismos no tendrían implicancia relevante en la fundación. *El Complejo Buenos Aires hospeda un extenso enjambre de diques proterozoicos descriptos inicialmente por Villar Fabre (1955), Quartino y Villar Fabre (1967), Teruggi et al. (1974b), Lema y Cucchi (1981), Dristas (1983) y Kilmurray et al. (1985a). Los más antiguos, de edad transamazónica (Teixeira et al., 2002), corresponden a un volcanismo bimodal perteneciente a una asociación calcoalcalina (Fernández y Echeveste, 1995; Iacumin et al., 2001), integrada por diques de composición andesítica y riolítica. Los más jóvenes, de ~1600 Ma (Teixeira et al., 2002), son máficos y tholeíticos (Echeveste y Fernández, 1994, Iacumin et al., 2001), y dentro de ellos fueron reconocidos también dos grupos, diabasas (Teruggi et al., 1974), presentes en las Sierras de Azul y Tandil y diques basálticos de alto TiO_2, solo reconocidos en las Sierras de Tandil (Teruggi et al., 1988).*

En síntesis, las rocas que componen el Basamento Cristalino son diversas, de origenes distintos y mecanismos de formación en los cuales intervienen mas de un proceso por lo general variando, de esta manera, las características petrológicas de una localidad a otra. De cualquier forma, son en general de características granudas, de composición ácida pudiéndose diferenciar rocas granulares masivas, sin esquistosidad/foliación (granitos de anatexis), rocas granulares con esquistosidad/foliación poco marcada (granitos gneisicos), rocas granulares con esquistosidad/foliación (migmatitas y gneises de inyección), rocas granoblásticas esquistosas, sin foliación asociadas a filones pegmatíticos de textura granuda.

Así, en el área de fundación de la presa el Basamento Cristalino está conformado por rocas poco meteorizadas/alteradas a muy alteradas, en mayor grado milonitizadas. El grado de meteorización/alteración varía grandemente, observándose rocas aparentemente frescas como muy meteorizadas/alteradas.

Esta configuración del grado de alteración de las rocas componentes se explica como producto de la acción meteórica y/o el influjo de zonas de cizalla, de la composicion mineralógica de las rocas y de la historia de las condiciones climáticas del medio. Los diferentes grados de meteorización/alteración originan distintas aptitudes geomecánicas aún en un mismo tipo de roca.

Un aspecto muy importante a los fines geotécnicos es el alcance en profundidad de la meteorización/alteración. Ésta se manifiesta de manera horizontal en los primeros metros de profundidad existiendo, además, fajas de rocas con mayor intensidad de alteración en sentido subvertical consecuentes con las zonas de mayor fracturación y cizalla y cuya dimensión se infiere de magnitud pero se desconoce su alcance real en profundidad.

La alteración de las rocas ligadas a las zonas de mayor fracturación comprometen no sólo la calidad geomecánica de las rocas sino también el sentido preferencial de la circulación del agua por debajo de la futura presa.

Si bien existen diaclasas abiertas debido a la intemperización y erosión, también se encuentran diaclasas cerradas y sin relleno. En las zonas de mayor alteración, coincidentes con las zonas de fractura, es donde se las observa en superficie abiertas (erosionadas) o rellenadas, con y sin presencia de jaboncillo.

Localmente son importantes en ambas márgenes, en la traza del eje y aguas arriba y aguas abajo del cierre estudiado, los materiales alterados del Basamento Cristalino en zonas de cizallamiento. Éstos en algunos sectores han sido removidos por acción antrópica constituyendo formas topográficamente cóncavas pertenecientes a antiguas canteras de "piedra laja" y en menor cuantía de "gransa". Las características geomecánicas de estos últimos (gransa) materiales son inconvenientes para la fundación, agregando de esta manera complejidad específica al cuadro general.

Por lo expuesto adquiere importancia la detección de estructuras de falla y/o fuerte diaclasamiento y cizallamiento y la profundidad y grado de la meteorizacion/alteración existente en las rocas asociadas del basamento cristalino, particularizando la investigación en la determinación de los parámetros geotécnicos del macizo rocoso a través de perforaciones como método de investigación directo a los fines de identificar y categorizar las zonas geotécnicas existentes dados los escasos afloramientos existentes en el área específica de fundación de la presa.

Las rocas presentes en el sector, de composición petrológica variable, compleja estructura y disímil alteración, constituyen las expresiones superficiales del vasto lecho o zócalo rocoso del Basamento Cristalino que se extiende por toda la región subyaciendo a depósitos sedimentarios y/o suelos orgánicos.

Cubierta Sedimentaria Cuaternaria

La cubierta sedimentaria suprayace al Basamento Cristalino y constituye el componente litológico de mayor superficie areal de la zona específica del futuro embalse temporario.

Los sedimentos depositados, en discordancia basal, sobre el Basamento Cristalino son Cuaternarios del Pleistoceno y del Reciente poseyendo caracteristicas clásticas. Desde el punto de vista de la mecánica deposicional son de dos tipos: Fluviales y Eólico.

Sobre margen izquierda, en el área de la fundación y del futuro embalse, los sedimentos de origen fluvial postpampeanos poseen 1) granulometrías finas a muy finas de colores oscuros, de alta plasticidad y 2) en margen derecha adyacente a la Avda. Estrada se constituyen en brechas arenosas, y arenas finas de colores pardos a pardo-claros, de muy escaso espesor.

Los primeros depósitos son producto de una zona de baja energía mientras que los segundos son producto de una dinámica y una pendiente que se

traducía en una capacidad mayor de carga y transporte por tracción y saltación muy distinta de lo que en la actualidad se observa en la dinámica de los arroyos en la zona, siendo la madurez composicional media a baja.

Se han identificado además depósitos eólicos del Pampeano, del tipo loéssico. Se encuentran depositados en toda la serranía "tapizando" el Basamento Cristalino y depósitos anteriores. En el área de estudio poseen escaso espesor y, por lo general, no presentan concreciones de carbonato de calcio. Este tipo de depósito fue localizado en la zona de cierre y en el área específica del futuro embalse temporario y también se lo localiza aguas arriba en el área de la cuenca.

Finalmente, es de destacar que, en el área de fundación y el área del futuro embalse temporario se encuentran depósitos que corresponden a relleno antrópico, producto residual de industrias de la zona y de desperdicios urbanos.

Estructura y geomorfología

Desde un enfoque regional, la estructura de Tandilia se encuentra caracterizada por la existencia de bloques del basamento cristalino fracturados por fallas de alto ángulo con fuertes rechazos verticales.

Su origen se remonta a la elevación de las sierras producida conjuntamente con el desarrollo de la Orogenia Andina (Teruggi et al, 1980). Allí se reactivaron los viejos planos estructurales correspondientes a las fases deformacionales que se han reconocido y se describen para el sector: F_1 (plegamiento suave asociado a cuerpos graníticos menores); F_2 (plegamiento suave a intenso en sectores asociado a intrusiones de granitoides, intrusiones menores ácidas y diabasas); F_3 (plegamiento intenso, migmatización). La fase deformacional F_4 (plegamiento tipo nappe) no se ha reconocido en el área siendo este plegamiento el responsable de la deformación de los diques de diabasa.

Consecuencia de la reactivación terciaria aludida de esos antiguos planos estructurales correspondientes a las deformaciones producidas desde el Ciclo Transamazónico, la situación estructural se resumió según tres orientaciones claramente definidas constituyendo lo que se denomina dominios estructurales: Dominio A: de orientación E-O, Dominio B: de orientación NE-SO y Dominio C: de orientación NO-SE.

Esta es la estructura actual regional del Basamento Cristalino y, en consecuencia, es este el cuadro que domina el sistema estructural de la contenida área de estudio aunque los rechazos que se advierten y se infieren en el lugar no alcanzan la magnitud de los de las megaestructuras que definen la resultante regional.

Por otra parte, la geomorfología regional se encuentra sujeta a la prepoderante estructura citada del Basamento. Los cerros y valles que en la actualidad se observan en el paisaje responden precisamente a esos bloques del basamento cristalino ascendidos diferencialmente (horsts y gravens) según los dominios citados. La erosión de las serranías y el relleno de valles por depósitos de tipo

fluvial y, fundamentalmente, eólicos posteriores completan y constituyen la actual topografia de suaves lomadas que caracteriza al ambiente geomorfológico del ámbito periserrano.

Durante la elevación diferencial de los bloques a la manera de los horsts y gravens europeos, la erosión actuó primordialmente en las zonas de mayor debilidad, coincidentes con las zonas de fallas, por lo que las formas y disposición de las elevaciones actuales están controladas, en general, por las fallas y las diaclasas resultantes de los tres dominios estructurales del Basamento. Las corrientes de agua fueron agentes erosivos muy importantes que excavaron posteriormente estas zonas de debilidad originando redes de drenaje del tipo consecuente.

La red de drenaje actual se implantó sobre el diseño anterior, aunque sus características en cuanto a las dimensiones son reducidas si se las compara con el tamaño de los valles por donde transcurren y por los testimonios sedimentarios descriptos anteriormente teniendo en cuenta, además, que la búsqueda de los niveles de base en la actualidad se desarrollan sobre los mismos sedimentos cuaternarios en toda la extensa región del dominio de las Sierras.

Sólo en cabeceras, y este es el caso aguas arriba del cierre estudiado, la erosión hídrica se desarrolla en contacto con el Basamento. De cualquier forma, por lo anteriormente expresado, la sedimentación se produjo en condiciones estructurales estables.

En cuanto al análisis de las estructuras propiamente dichas, sean estas planos de fallas y/o diaclasas, la cataclatización de las rocas componentes y la milonitización y ultramilonitización de las mismos en fajas de cizalla se deben a la existencia de los esfuerzos dinámicos durante las fases deformacionales muy antiguas F_1, F_2 y F_3 que dieron origen, posteriormente durante la Orogenia Andina, a los ya citados actuales Dominios Estructurales A, B y C de rumbos aproximados E-O, NE - SO y NO - SE respectivamente.

A todo este complejo estructural debe agregarse la existencia superficial y subsuperficial de un cuarto juego de diaclasas subhorizontales que "corta" a los tres sistemas anteriores. La existencia del mismo es el responsable en gran medida de las redondeadas pendientes generales de los afloramientos rocosos del Basamento en el marco regional. Tendría circunscripta su existencia sólo a los niveles superiores del macizo rocoso debido a relajamiento, siendo que su origen se interpreta ligado a la acción de esfuerzos compresivos corticales sobre macizo rocoso (Vidal Romaní y Rowland Twidale, 2005, 2006). Los citados autores concluyen que este diaclasamiento es importante en los niveles superficiales disminuyendo su frecuencia en profundidad.

El diaclasamiento subhorizontal superficial y subsuperficial aludido y el que corresponde a los rumbos E-O, NE-SO y NO-SE con inclinación básicamente subvertical son elementos conjugados que contribuyen a la formación de bloques de dimensiones variables (de escasos cm^3 hasta métricas cúbicas) a lo que coadyuva la existencia de fajas ultramilonitizadas y alteradas susceptibles de erosión.

La presencia de bloques en las laderas de los valles y en los sedimentos clásticos de las vías fluviales son testimonio de la ocurrencia del fenómeno. Se considera que estos deslizamientos de bloques se producen sólo en las partes superficiales del manto rocoso al influjo de la erosión y acción gravitacional en el ámbito de las laderas.

El cuadro estructural descripto y el tipo de rocas resultantes son fuertes condicionantes en el desarrollo geomorfológico del área ya que es precisamente la estructura del Basamento Cristalino la que condiciona la estructura general de la región y sus implicancias geomorfológicas: cerros, valles y cursos fluviales.

Finalmente, y de manera local, es de destacar la acción transformadora antrópica sobre los rasgos geomorfológicos existentes en el sector. Esta acción antrópica ha producido un cambio en las geoformas (concavidades sobre y a ambos lados del eje de la presa) por acción de explotaciones de cantera del tipo pirquinero en la búsqueda de explotación comercial de piedra ("piedra laja") y arena ("gransa" en la jerga canteril local) y por la presencia de depósitos antrópicos (en el área del estribo de margen izquierda) producto de acción residual de industrias y desperdicios urbanos.

Sismicidad natural e inducida

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.

El área donde se desarrollan los estudios es considerada un área cratónica y, por lo tanto, es una de las zonas de nuestro país de menor riesgo sísmico. Algunos autores involucran a la región en la macroestructura del Cratón del Río de la Plata lo cual indica el grado de rigidización del sistema.

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.

ANEXO II
ANÁLISIS GEOTÉCNICO
CRITERIOS CONCEPTUALES
(Geólogo Luis Mario Giaconi)

La conceptualización básica de un estudio geotécnico se inicia con la determinación de las distintas zonas litoestructurales que integran el macizo rocoso bajo análisis.

Para cada una de ellas se realiza posteriormente la determinación geotécnica de sus características mediante a obtención de los valores de resistencia, de deformabilidad o deformación y de los parámetros hidrogeológicos (permeabilidad y presión de agua intersticial) del macizo rocoso respecto a su aplicación en: a) la fundación, b) las tareas de excavación y c) los materiales de construcción.

Se desarrolla a continuación una muy breve síntesis sobre los criterios conceptuales para la valoración de dichas características en el estudio de macizos rocosos.

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 pués 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"*. Tal el caso del presente informe.

La resistencia puede evaluarse en términos de máximo esfuerzo que puede soportar un macizo para unas determinadas condiciones y en términos de las propiedades resistentes que el mismo posea, cohesión C y ángulo de rozamiento interno Ø, parámetros que de manera habitual se necesitan para los cálculos de los proyectos de las obras de ingeniería.

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 familia de discontinuidades o mas familias de discontinuidades (2 ó 3) siempre que sean representativas en el macizo, siendo un caso muy particular la resistencia global de un sistema de bloques rocosos con comportamiento isótropo.

En la fundación y en las excavaciones superficiales como las que se deberán producir como resultado de los estudios de macizo, o subterráneas, tanto los trabajos de excavación del macizo como los problemas de estabilidad y comportamiento mecánico están directamente relacionados con la resistencia del material y sus discontinuidades.

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, y su resistencia debe estimarse por métodos indirectos.

Existen varios procedimientos por vía indirecta. En el presente caso se utilizará un procedimiento basado en índices de calidad como el de las clasificaciones geomecánicas.

De esta manera se estimará la resistencia 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 que se determinen de las zonas litoestructurales identificadas mediante el índice MRM (Bieniawsky, 1989) y los parámetros resistentes de salida C y Ø 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 en el próximo punto.

2.- Deformación del macizo rocoso

La deformación de un macizo rocoso se encuentra determinado 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. Se encuentra fundamentado en 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 geofisicos 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.

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

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 en el tipo de macizo objeto de estudio es poco factible se determine fundar sobre rocas muy alteradas y/o cizalladas y si la ocurrencia de valores inferiores al explicitado ocurriere parcialmente en algún sector de la fundacion, el mismo sería tratado dentalmente (excavado y reemplazado por hormigones de mejor calidad).

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*:

- 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, excepto el caso de matriz rocosa permeable, son los dos parámetros mas importantes a tener en cuenta. Los valores de las presiones ejercidas dentro del macizo pueden variar con cierta velocidad por la menor o mayor facilidad de circulación de agua en las discontinuidades.
Al igual que en los parámetros anteriores descriptos, 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.

La permeabilidad de un macizo con matriz rocosa de baja o nula permeabilidad se encuentra determinada por la intensidad de la fracturación, la interconexión de los distintos juegos o sistemas de discontinuidades y la permeabilidad de las mismas (abertura/relleno).

Se evalúa in situ mediante ensayos hidráulicos en intervalos no mayores de cinco metros de manera consecutiva en perforaciones. Dichos ensayos son los 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.

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 Sopeña, 1991, modificada)

Tipo de Macizo Rocoso	**Unidades Lugeon**	**Presión (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 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.- Conceptos finales

Finalmente, en la determinación de las propiedades descriptas (resistencia, deformación, permeabilidad) del macizo rocoso, mediante ensayos in situ o de

laboratorio sobre muestras obtenidas del macizo, existen como fue ya mencionado 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, 2003).

Por tal razón, la metodología que se sugiere aplicar para la determinación de las características geotécnicas de macizos rocosos se basa en el método de las clasificaciones geomecánicas, que si bien es menos preciso resulta mas representativo del conjunto.

Geólogo Luis Mario Giaconi

ANEXO III
ESTUDIO GEOELÉCTRICO
(Geofísico Boris Calvetty Amboni)

ESTUDIO GEOELÉCTRICO EN EL CIERRE PROYECTADO SOBRE EL ARROYO BLANCO

PARTIDO DE TANDIL
PROVINCIA DE BUENOS AIRES

1.- INTRODUCCIÓN: Los primeros días de octubre de 2011 se efectuaron mediciones geoeléctricas en la traza del cierre proyectado sobre el Arroyo Blanco, al sud oeste de la ciudad de Tandil (Figura 1).

Fig. 1: Ubicación del Perfil Geoeléctrico en la traza programada

Se midieron 10 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) de entre 80 y 125 m de ala (Figura 3) y una línea de tomografía eléctrica de 200 metros de longitud.

2.- OBJETIVO DEL ESTUDIO: La finalidad del estudio es la de evaluar las variaciones de la profundidad del basamento a lo largo de la mencionada traza.

3.- TAREAS REALIZADAS

3.1.- LOS SONDEOS ELÉCTRICOS

RELEVAMIENTO DE CAMPO:

Adquisición de los datos: En la medicion de los SEV se utilizó el dispositivo simétrico de Schlumberger de cuatro electrodos (Figura 2) (*ORELLANA, E., 1982. Prospección geoeléctrica en corriente continua. Paraninfo. Madrid*.)

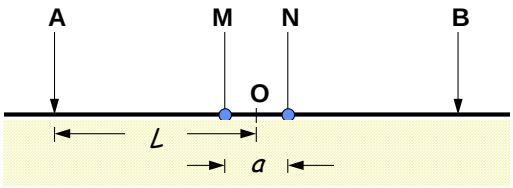


Fig. 2: Dispositivo Schlumberger

El instrumental: El instrumento utilizado para la obtención de los datos es un resistivímetro Marca GEOELEC, compuesto por amperímetro y voltímetro digitales y un convertidor de de 250 watts (cc) conectado en serie con una batería de acumuladores de 12 voltios para la energización del terreno.

Para el tendido de los cables de energización se utilizaron carretes de 250 m. de cable cada uno, electrodos de acero inoxidable para el contacto con el terreno y electrodos impolarizables de Cu-SO_4Cu en el circuito de medición de los potenciales eléctricos (ver Figura 3).

Fig. 3: Medición de uno de los SEV

PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN: Los valores de ρ_a (en Ω.m) obtenidos en el campo se muestran en las tablas y gráficos logarítmicos, presentados en el "Anexo de Curvas de Resistividad".

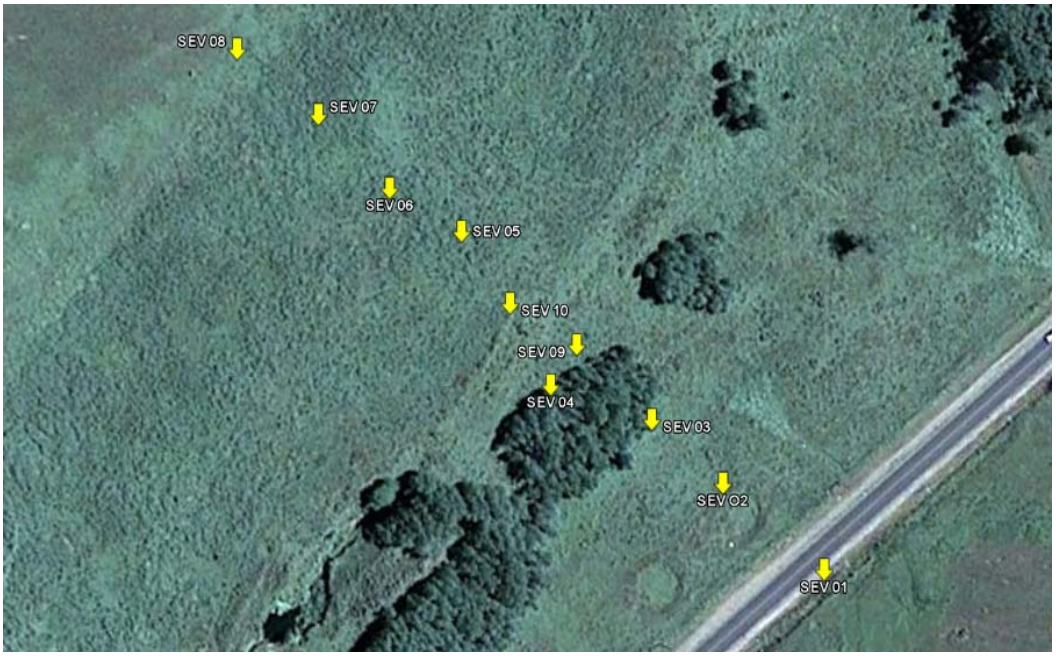


Fig. 3: Ubicación de los 10 SEV medidos sobre la traza proyectada

El procesamiento de las curvas de resistividad aparente obtenidas, se hizo utilizando el procedimiento propuesto por A. R. Zohdy (*ZOHDY, A. R, 1989. A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves. Geophysics, v 54, Nº 2, pag: 245-253*) con posterior ajuste interactivo siguiendo la metodología de H. K. Johansen (J*OHANSEN, H, K (1975). An interactive computer-display-terminal system for interpretation of resistivity soundings. Geoph. Prosp., 23, p. 449-459*) En todos los casos la respuesta de los modelos analizados se obtuvo por convolución entre la Transformada de la Resistividad y el operador lineal (o filtro)

de 129 coeficientes de J. L. Seara (*SEARA, J. L. 1979. Computer programs for resistivity interpretation. Aplication Brief 79-1. Scintrex. Concord (Toronto), 66 págs*) que requiere el muestreo de la Transformada de la Resistividad a razón de 8 puntos por década logarítmica.

El resultado de este procedimiento son los Cortes Geoeléctricos (uno por cada SEV) expresado en función de resistividades y profundidades mostrados también en las tablas y gráficos logarítmicos, del "Anexo de Curvas de Resistividad. Con estos cortes, de entre 5 y 7 capas se confeccionó la Sección Geoeléctrica de la Figura 5.

LA SECCIÓN GEOELÉCTRICA: Si se observan los datos del Anexo, puede advertirse que en los 10 SEV medidos se define un sustrato de alta resistividad, el que se correspondería con el basamento compacto y cuya profundidad varía entre los 11 m de los extremos del perfil y los 46 m de los SEV 05 y 06. No obstante, en los cuatro SEV del sector NO 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, medido prácticamente sobre afloramientos.

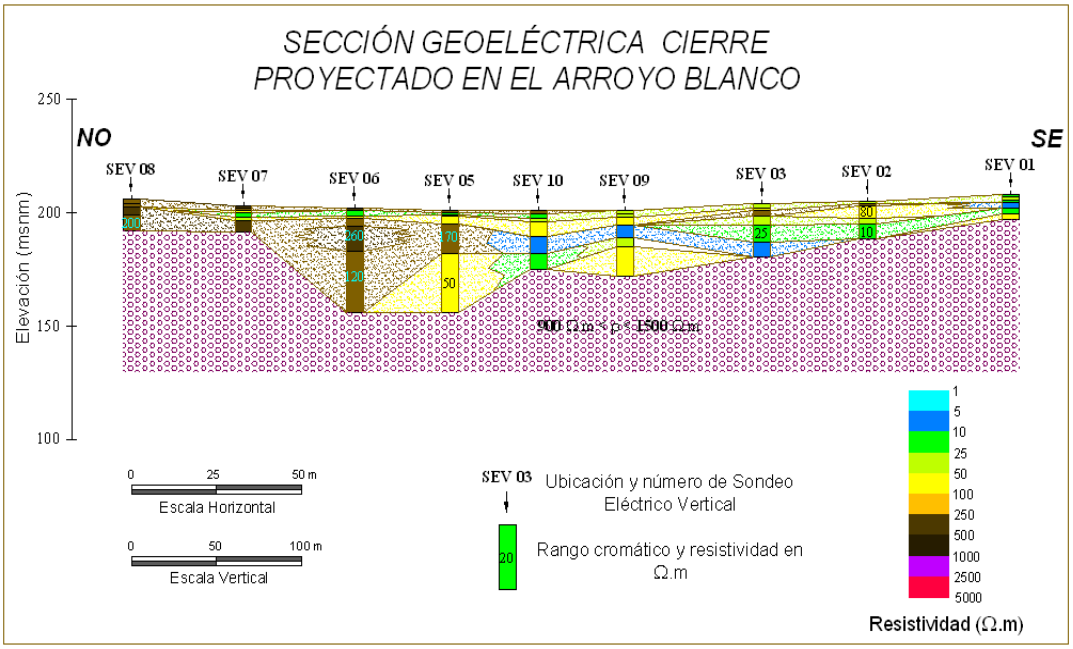


Fig. 5: Sección Geoeléctrica obtenida a partir de los SEV

Diferentes son las condiciones en el sector SE del perfil, donde el material sedimentario se apoyaría directamente sobre el basamento inalterado, con espesores que llegarían hasta los 26 m en el SEV 10, ubicado prácticamente sobre el cauce del arroyo, y valores de 23 y 16 m en los SEV 03 y 02.

3.2.- LA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

En este caso los datos se obtuvieron mediante un arreglo multielectródico lineal con base en el dispositivo de Wenner para obtener un perfil eléctrico del terreno en dos dimensiones pasible de ser interpretado en términos geológicos (*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*). La disposición electródica básica se muestra en la Figura 6, donde el espaciamiento electródico es designado como "a", A y B los electrodos de corriente y M y N los electrodos de potencial.

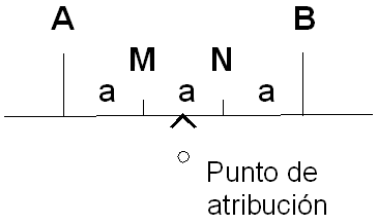


Fig. 6: Dispositivo de Wenner

La resistividad aparente (en ohm.m) se calcula según la expresión:

$$\rho_{ap} = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

El valor obtenido se atribuye a un punto ubicado debajo del punto medio del dispositivo y a una profundidad proporcional con la separación entre los electrodos

La Figura 7 muestra la secuencia de mediciones para un arreglo de 21 electrodos como el utilizado en el presente caso. Siendo “a” la separación entre electrodos adyacentes, el primer paso consiste en hacer todas las mediciones posibles con este espaciamiento. Para la primera medición se usan los electrodos 1, 2, 3 y 4, que serán respectivamente A, M, N y B. Para la segunda medición cumplirán estas funciones los electrodos 2, 3, 4 y 5, lo que se repite a lo largo de la línea de electrodos hasta que son utilizados los electrodos 18, 19, 20 y 21 para la última medición, lo que implica 18 (21-3) mediciones con el espaciamiento “1a”.

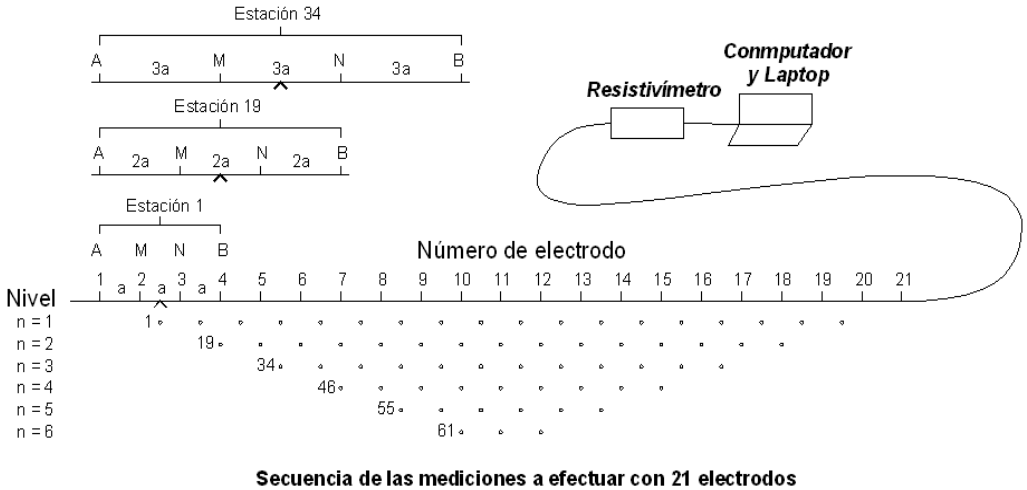


Fig. 7: Despliegue con el dispositivo de Wenner para 21 electrodos.

Completada la secuencia anterior, se realiza la correspondiente a un espaciamiento “2a”, en cuyo caso para la primera medición son utilizados los electrodos 1, 3, 5 y 7 y para la segunda los electrodos 2, 4, 6 y 8. Proceso que se repite hasta que son utilizados los electrodos 15, 17, 19 y 21. En este caso pueden realizarse 15 (21-2x3) mediciones. Repitiéndose el procedimiento para mediciones con espaciamientos “3a”, “4a”, “5a” y “6a”.(“**n**a” con **n**= 1, 2, 3, 4, 5 y 6)

Es decir, el espaciamiento **a** es fijo y las mediciones se hacen para varios valores de **n**, de modo de ir incrementando la profundidad de investigación conforme **n** aumenta (como se grafica en la Figuras 7). En el presente caso los valores adoptados fueron: a = 10 m y **n**= 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

Instrumental utilizado

Las mediciones se realizaron con el mismo instrumento utilizado para los SEV, completándose el equipo con dos manojos de cables para la conexión de los 21 electrodos de acero con revestimiento de cobre del dispositivo básico, conectados a un conmutador externo que permite la lectura de los valores de corriente y potencial para el cálculo de la ρ_a en cada una de las 63 posiciones requeridas.

Modelos bidimensionales (2D)

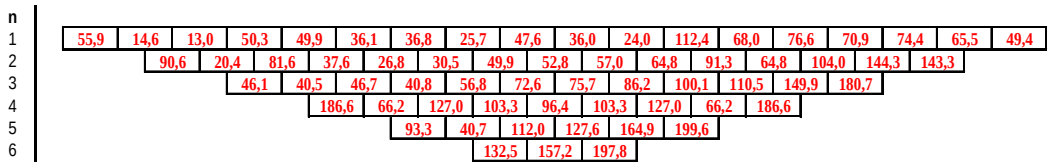


Fig. 8: Valores de la resistividad aparente obtenidos en el Perfil.

Efectuadas las mediciones, lo que se tiene como dato es una grilla vertical con valores de la resistividad aparente como el de la Figura 8. Como corresponde con el dispositivo base (Figura 6) la ubicación horizontal de los puntos de la grilla se hace en el punto medio del conjunto de cada arreglo electródico tetrapolar y su ubicación vertical, o pseudoprofundidad, proporcionalmente a la separación electródica (tal como se muestra en el esquema de la Figuras 7).

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.

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 10), que es obtenida por interpolación entre los valores de resistividad aparente obtenidos (los que muestra la Figura 8), es decir, presenta en forma gráfica y de manera muy conveniente los valores de la resistividad aparente obtenidos, proporcionando un cuadro apenas aproximado de la distribución de la resistividad verdadera del subsuelo puesto que es un cuadro distorsionado debido a que las formas de las isolíneas dependen del tipo de arreglo utilizado tanto como de la resistividad verdadera del subsuelo. Por tanto, sería un error intentar utilizar “esta” pseudosección 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 10) coincidan aceptablemente con los valores medidos en el relevamiento de campo.

Fig. 9: Ubicación del perfil de la Tomografía Wenner

Es decir, como todo método de inversión, el programa proporciona un modelo del subsuelo (“Inverse Model Resistivity Section”, parte inferior de la Figura 10) 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 resisitividad aparente calculados sean próximos a lo valores medidos.

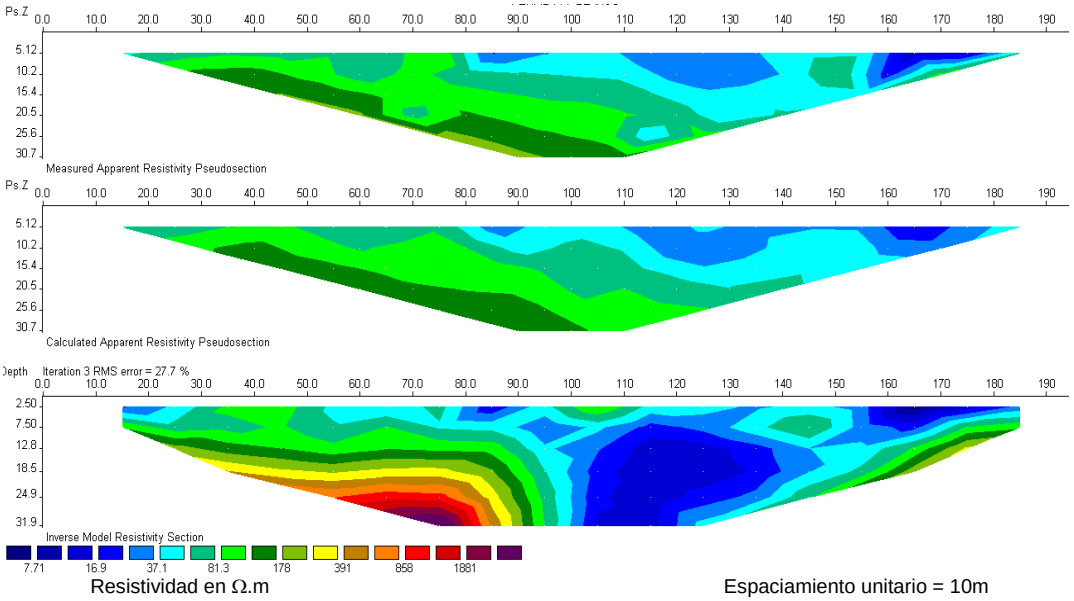


Fig. 10: Imagen eléctrica obtenida con el dispositivo Wenner

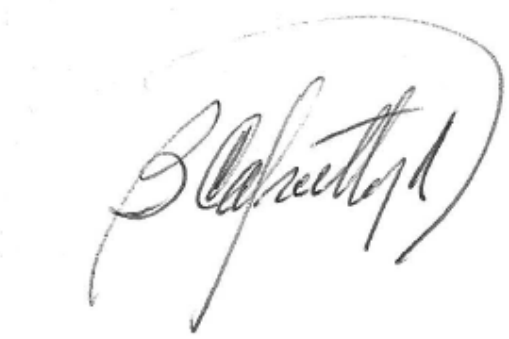
En el presente caso, el modelo obtenido (parte inferior de la Figura 10) muestra un esquema de resistividades que corresponden al perfil dibujado en la imagen de la Figura 9, que se extiende entre la ubicación del SEV 7 y un punto intermedio entre los SEV 2 y 1. Según se observa en la escala de profundidades tiene una penetración máxima de 31,9 m y analizado considerando la escala cromática de resistividades, valores que pueden asociarse al basamento próximo se dan en los extremos del perfil, hacia el NO entre el inicio del perfil y hasta la progresiva 90 (donde se midió el SEV 10) sector en el que la resistividad va en aumento con la profundidad hasta encontrar valores superiores a los 1000 Ω.m a partir de los 25 m de profundidad. Y algo similar podría decirse para el sector del extremo SE. Sin una referencia directa, podría interpretarse que recién a partir de esta profundidad se encontraría basamento consolidado, pero que en ambos sectores por encima de esa profundidad 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 (que contiene a los SEV 9 y 10) que coincide con el cauce del arroyo, no se dan resistividades superiores a los 100 Ω.m hasta la máxima penetración de la sección, más aún, entre las progresivas 105 y 115 no superan los 15 Ω.m, por lo que cabe afirmar que en esta parte de la sección y hasta la máxima profundidad investigada (32 m) no hay evidencias de basamento ni siquiera alterado.

4.- CONCLUSIÓN FINAL

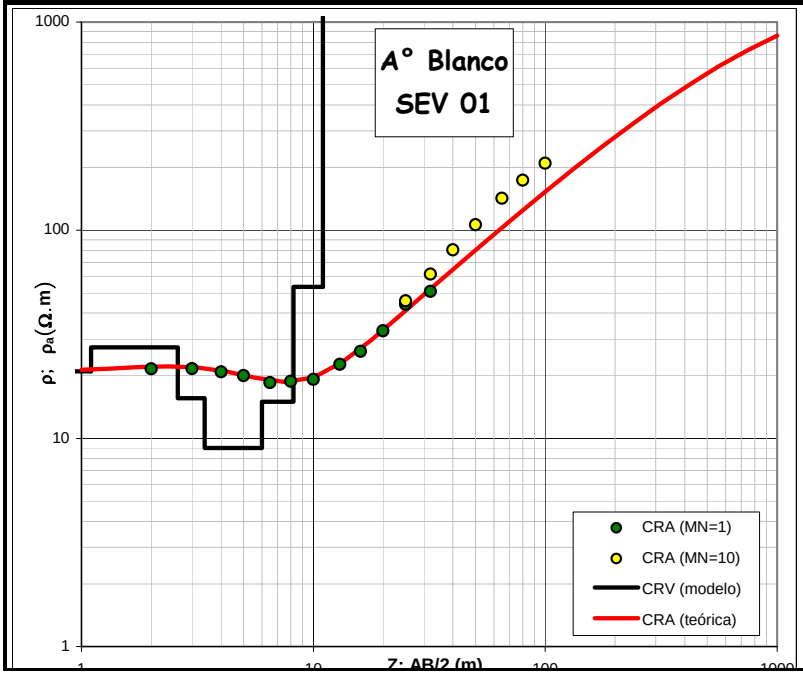
Considerando los dos perfiles obtenidos, por la aplicación de dos técnica diferentes, se observa que entre ambos no se dan contradicciones importantes y constituyen, ambos, una interesante y útil referencia para programar las subsiguientes tareas de exploración, las que por otra parte proporcionarán las referencias necesarias para su posterior ajuste.

La Plata, 28 de octubre de 2011

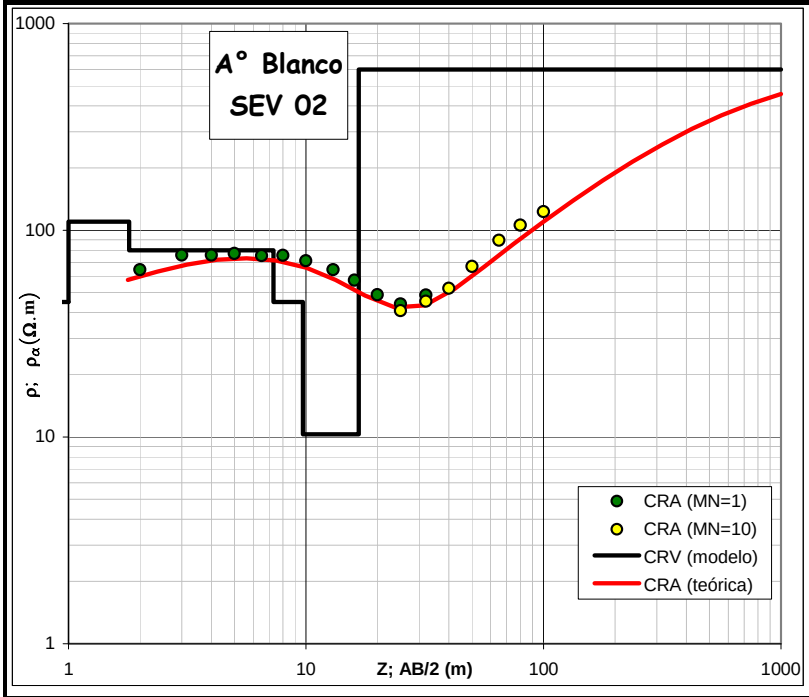


ANEXO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD

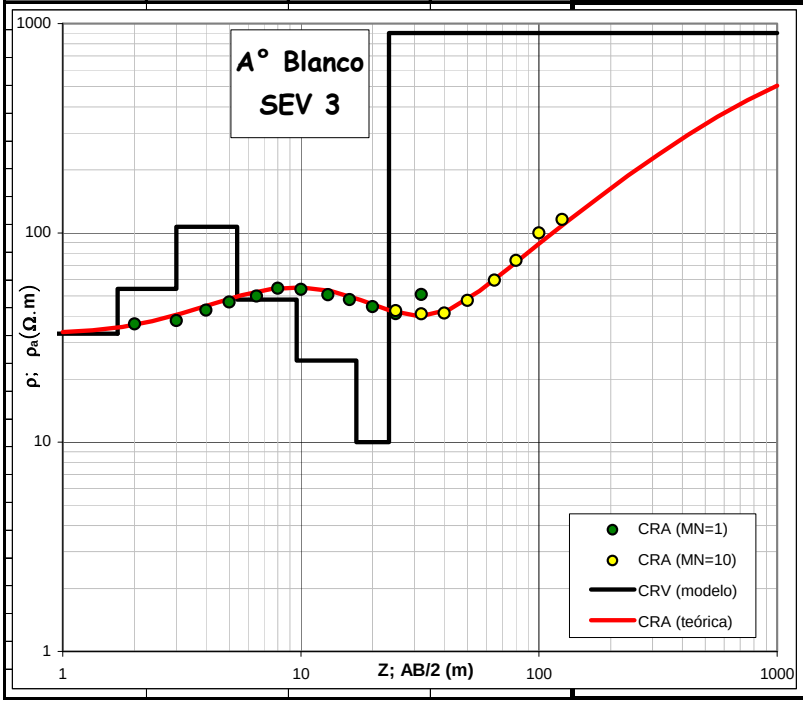
Provincia: **BUENOS AIRES**				Departamento: **TANDIL**			
Área: ***Cierre ARROYO BLANCO***				**SEV 01**			
Rumbo : SO - NE			Altitud aproxim: 208 m	Coord. WGS 84	φ = -37º 20' 32.4"		
Fecha : 03/10/2011					λ = -59º 09' 11.5"		
AB/2	**CRA (MN=1)**	**CRA (MN=10)**		**N° capa**	**espesor**	**profundidad**	**resist**
2	21,59			**1**	**1,10**	**1,10**	**21,00**
3	21,64			**2**	**1,50**	**2,60**	**27,40**
4	20,89			**3**	**0,80**	**3,40**	**15,60**
5	20,03			**4**	**2,60**	**6,00**	**9,00**
6,5	18,54			**5**	**2,20**	**8,20**	**15,00**
8	18,83			**6**	**2,80**	**11,00**	**53,40**
10	19,23			**7**			**1500,00**
13	22,69						
16	26,23						
20	32,92						
25	44,11	45,80					
32	50,78	61,51					
40		80,47					
50		106,25					
65		142,21					
80		173,77					
100		209,67					
125							



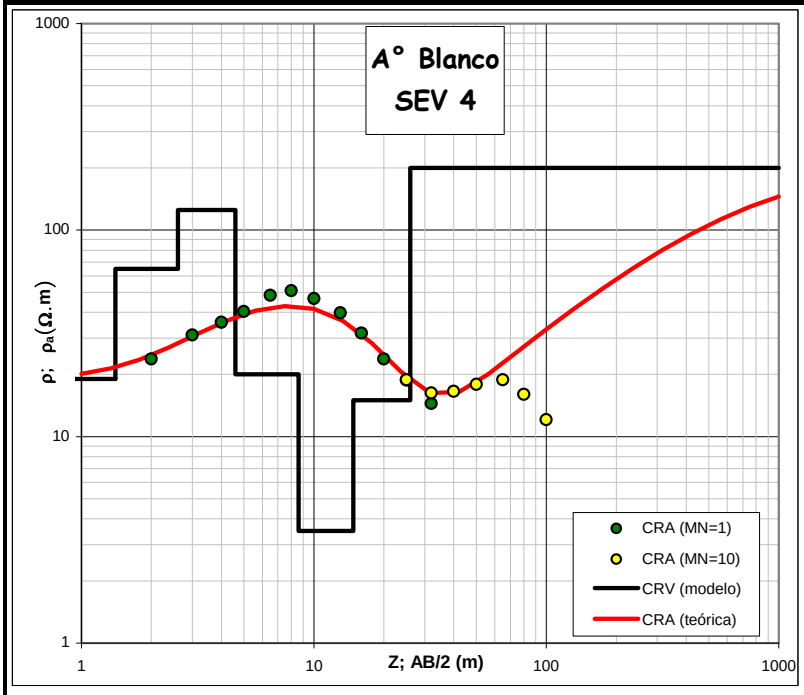
Provincia: **BUENOS AIRES**				Departamento: **TANDIL**			
Área: ***Cierre ARROYO BLANCO***					**SEV 02**		
Rumbo : SO - NE			Altitud aproxim: 205 m		Coord. WGS 84	φ = -37º 20' 31.6"	
Fecha : 03/10/2011						λ = -59º 09' 12.9"	
AB/2	**CRA (MN=1)**	**CRA (MN=10)**		**N° capa**	**espesor**	**profundidad**	**resist**
2	64,54			**1**	**1,00**	**1,00**	**45,00**
3	75,93			**2**	**0,80**	**1,80**	**110,00**
4	75,80			**3**	**5,50**	**7,30**	**80,00**
5	77,12			**4**	**2,40**	**9,70**	**45,00**
6,5	75,28			**5**	**7,00**	**16,70**	**10,30**
8	75,66			**6**			**600,00**
10	71,30						
13	64,54						
16	57,39						
20	48,74						
25	44,04	40,84					
32	48,64	45,37					
40		52,39					
50		66,88					
65		89,40					
80		105,89					
100		123,22					
125							



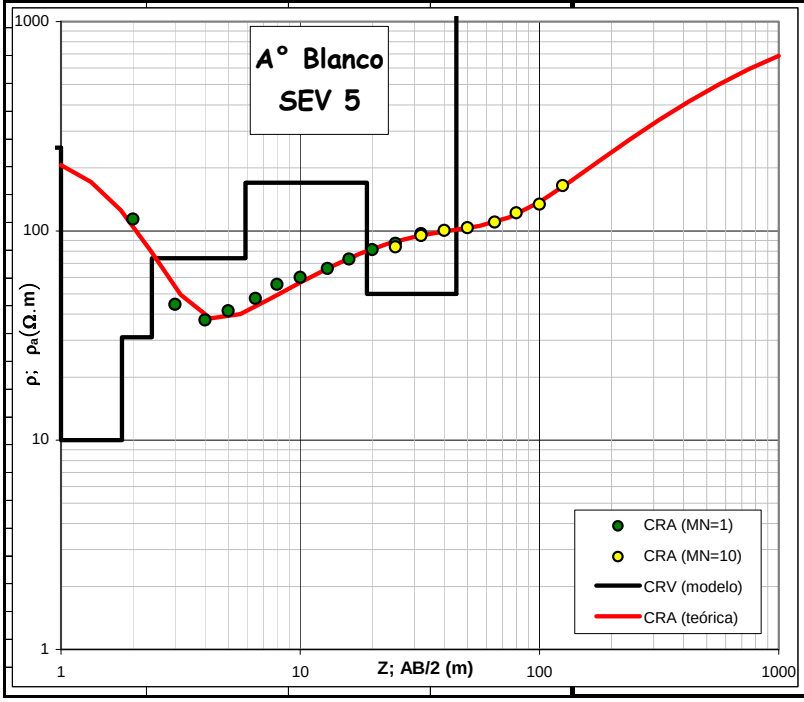
Provincia: **BUENOS AIRES**				Departamento: **TANDIL**			
Área: ***Cierre ARROYO BLANCO***					**SEV 03**		
Rumbo : SO - NE			Altitud aproxim: 203 m	Coord. WGS 84	φ = -37º 20' 31,0"		
Fecha : 03/10/2011					λ = -59º 09' 13,9"		
AB/2	**CRA (MN=1)**	**CRA (MN=10)**		**N° capa**	**espesor**	**profundidad**	**resist**
2	36,78			**1**	**1,70**	**1,70**	**33,00**
3	38,03			**2**	**1,30**	**3,00**	**54,00**
4	42,79			**3**	**2,40**	**5,40**	**107,00**
5	46,76			**4**	**4,20**	**9,60**	**48,00**
6,5	49,95			**5**	**7,50**	**17,10**	**24,50**
8	54,39			**6**	**6,30**	**23,40**	**10,00**
10	53,75			**7**			**900,00**
13	50,58						
16	47,97						
20	44,39						
25	41,15	42,44					
32	50,78	40,96					
40		41,38					
50		47,60					
65		59,51					
80		73,79					
100		99,87					
125		115,75					



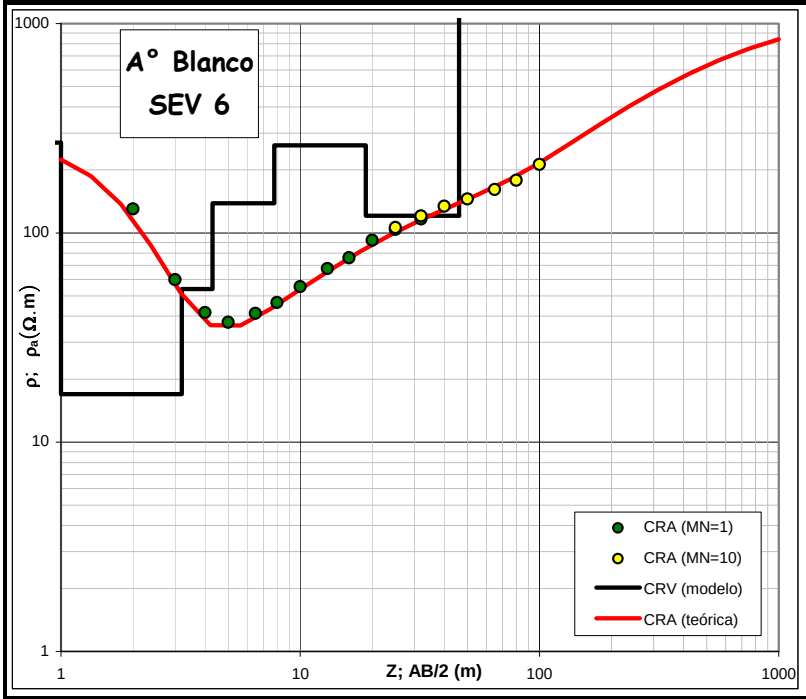
Provincia: **BUENOS AIRES**				Departamento: **TANDIL**			
Área: ***Cierre ARROYO BLANCO***					**SEV 04**		
Rumbo : SO - NE			Altitud aproxim: 201 m	Coord. WGS 84	φ = -37º 20' 30,7"		
Fecha : 04/10/2011					λ = -59º 09' 15,3"		
AB/2	**CRA (MN=1)**	**CRA (MN=10)**		**N° capa**	**espesor**	**profundidad**	**resist**
2	23,77			**1**	**1,40**	**1,40**	**19,00**
3	31,04			**2**	**1,20**	**2,60**	**65,00**
4	35,78			**3**	**2,00**	**4,60**	**125,00**
5	40,34			**4**	**4,00**	**8,60**	**20,00**
6,5	48,30			**5**	**6,20**	**14,80**	**3,50**
8	50,84			**6**	**11,20**	**26,00**	**15,00**
10	46,62			**7**			**200,00**
13	39,78						
16	31,68						
20	23,79						
25	18,81	18,85					
32	14,46	16,27					
40		16,55					
50		17,92					
65		18,85					
80		16,02					
100		12,08					
125							



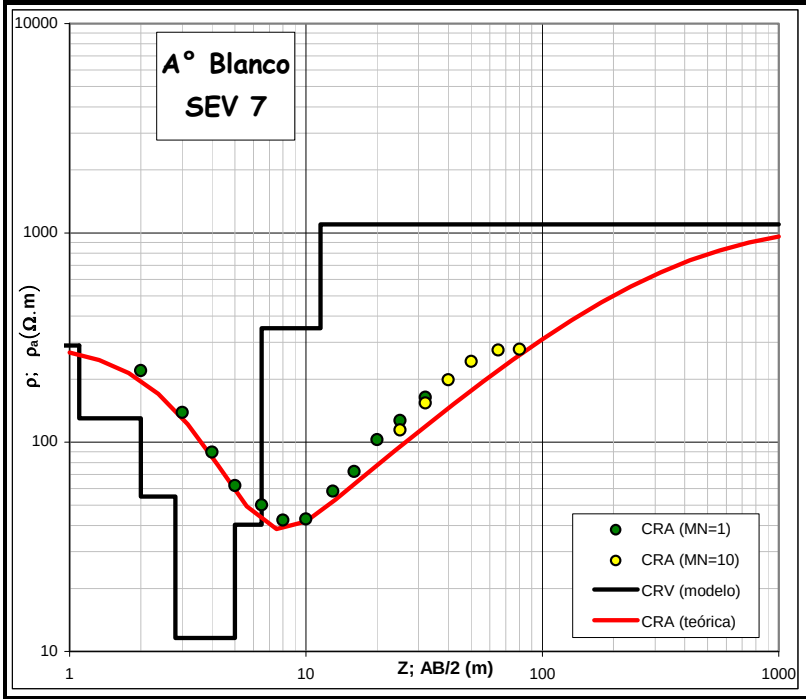
Provincia: **BUENOS AIRES**				Departamento: **TANDIL**			
Área: ***Cierre ARROYO BLANCO***					**SEV 05**		
Rumbo : SO - NE			Altitud aproxim: 201 m	Coord. WGS 84	φ = -37º 20' 29,2"		
Fecha : 04/10/2011					λ = -59º 09' 16,6"		
AB/2	**CRA (MN=1)**	**CRA (MN=10)**		**N° capa**	**espesor**	**profundidad**	**resist**
2	113,99			**1**	**1,00**	**1,00**	**250,00**
3	44,58			**2**	**0,80**	**1,80**	**10,00**
4	37,55			**3**	**0,60**	**2,40**	**31,00**
5	41,45			**4**	**3,50**	**5,90**	**74,00**
6,5	47,59			**5**	**13,10**	**19,00**	**170,00**
8	55,48			**6**	**26,00**	**45,00**	**50,00**
10	59,98			**7**			**1100,00**
13	66,14						
16	73,36						
20	81,42						
25	87,11	83,87					
32	96,93	94,87					
40		100,46					
50		103,67					
65		110,09					
80		121,84					
100		134,06					
125		164,53					



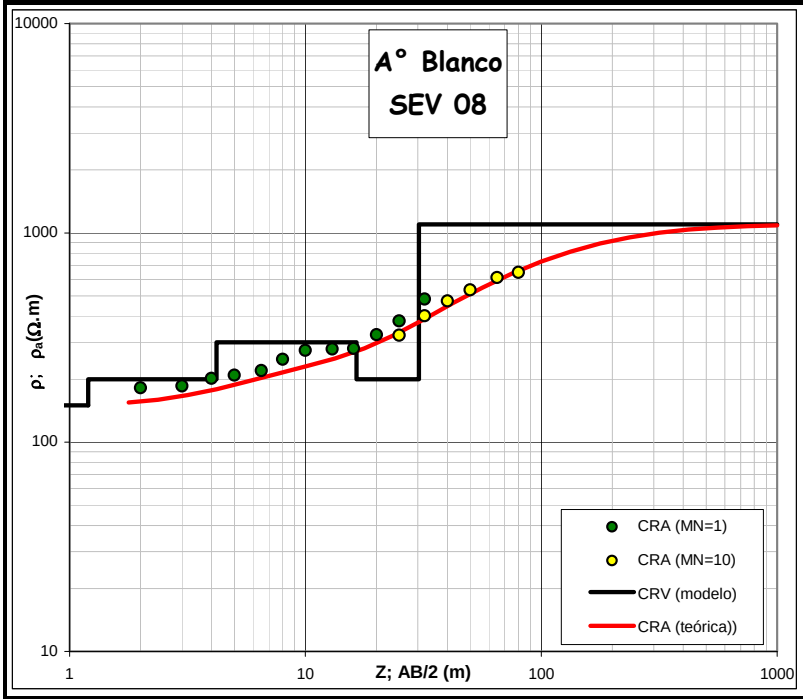
Provincia: **BUENOS AIRES**				Departamento: **TANDIL**			
Área: ***Cierre ARROYO BLANCO***				**SEV 06**			
Rumbo : SO - NE			Altitud aproxim: 202 m	Coord. WGS 84	φ = -37º 20' 28,8"		
Fecha : 04/10/2011					λ = -59º 09' 17,6"		
AB/2	**CRA (MN=1)**	**CRA (MN=10)**		**N° capa**	**espesor**	**profundidad**	**resist**
2	130,00			**1**	**1,00**	**1,00**	**270,00**
3	59,83			**2**	**2,20**	**3,20**	**17,00**
4	41,59			**3**	**1,10**	**4,30**	**53,90**
5	37,41			**4**	**3,50**	**7,80**	**138,60**
6,5	41,30			**5**	**11,00**	**18,80**	**261,90**
8	46,44			**6**	**27,30**	**46,10**	**120,90**
10	55,37			**7**			**1100,00**
13	67,59						
16	76,06						
20	92,31						
25	103,80	105,92					
32	116,53	120,35					
40		134,07					
50		145,14					
65		161,07					
80		178,28					
100		212,50					
125							



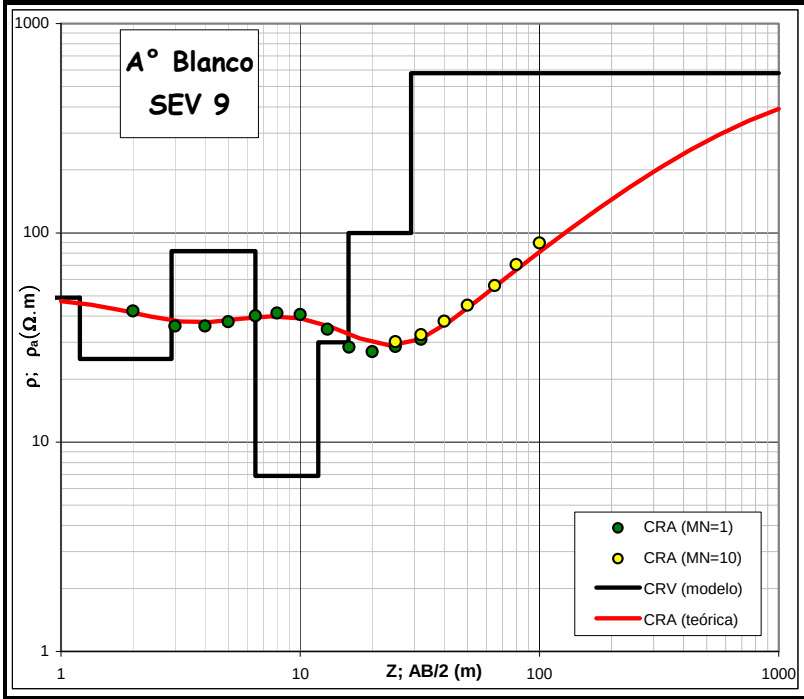
Provincia: **BUENOS AIRES**				Departamento: **TANDIL**			
Área: ***Cierre ARROYO BLANCO***					**SEV 07**		
Rumbo : SO - NE			Altitud aproxim: 203 m		Coord. WGS 84	φ = -37º 20' 28,1"	
Fecha : 04/10/2011						λ = -59º 09' 18,6"	
AB/2	**CRA (MN=1)**	**CRA (MN=10)**		**N° capa**	**espesor**	**profundidad**	**resist**
2	219,91			**1**	**1,10**	**1,10**	**290,00**
3	138,89			**2**	**0,90**	**2,00**	**130,00**
4	89,68			**3**	**0,80**	**2,80**	**55,00**
5	62,13			**4**	**2,20**	**5,00**	**11,60**
6,5	50,11			**5**	**1,50**	**6,50**	**40,40**
8	42,41			**6**	**5,00**	**11,50**	**350,00**
10	42,94			**7**			**1100,00**
13	58,34						
16	72,44						
20	102,92						
25	127,00	114,44					
32	163,63	154,10					
40		198,67					
50		242,98					
65		275,20					
80		278,08					
100							
125							



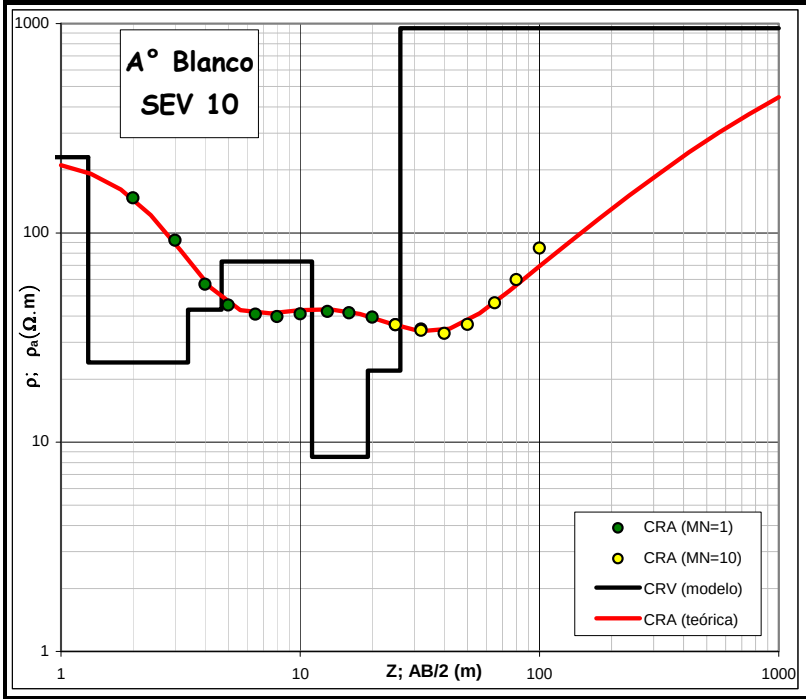
Provincia: **BUENOS AIRES**				Departamento: **TANDIL**			
Área: ***Cierre ARROYO BLANCO***					**SEV 08**		
Rumbo : SO - NE			Altitud aproxim: 206 m		Coord. WGS 84	φ = -37º 20' 27,5"	
Fecha : 04/10/2011						λ = -59º 09' 19,7"	
AB/2	**CRA (MN=1)**	**CRA (MN=10)**		**N° capa**	**espesor**	**profundidad**	**resist**
2	181,90			**1**	**2,00**	**2,00**	**150,00**
3	185,49			**2**	**1,50**	**3,50**	**200,00**
4	201,93			**3**	**3,30**	**6,80**	**300,00**
5	208,75			**4**	**7,00**	**11,80**	**200,00**
6,5	219,55			**5**			**1100,00**
8	248,99						
10	274,64						
13	278,70						
16	280,34						
20	326,48						
25	380,08	323,87					
32	482,43	401,36					
40		472,81					
50		533,50					
65		611,36					
80		648,40					
100							
125							



Provincia: **BUENOS AIRES**				Departamento: **TANDIL**			
Área: ***Cierre ARROYO BLANCO***				**SEV 09**			
Rumbo : O - E			Altitud aproxim: 201 m	Coord. WGS 84	φ = -37º 20' 30,3"		
Fecha : 13/10/2011					λ = -59º 09' 14,9"		
AB/2	**CRA (MN=1)**	**CRA (MN=10)**		**N° capa**	**espesor**	**profundidad**	**resist**
2	42,39			**1**	**1,20**	**1,20**	**49,00**
3	35,83			**2**	**1,70**	**2,90**	**25,00**
4	35,89			**3**	**3,60**	**6,50**	**82,00**
5	37,57			**4**	**5,40**	**11,90**	**6,90**
6,5	40,20			**5**	**4,00**	**15,90**	**30,00**
8	41,42			**6**	**13,20**	**29,10**	**100,00**
10	40,77			**7**			**580,00**
13	34,65						
16	28,49						
20	27,08						
25	28,63	30,18					
32	31,05	32,58					
40		37,82					
50		45,11					
65		56,04					
80		70,64					
100		89,42					
125							



Provincia: **BUENOS AIRES**				Departamento: **TANDIL**			
Área: ***Cierre ARROYO BLANCO***				**SEV 10**			
Rumbo : O - E			Altitud aproxim: 201 m	Coord. WGS 84	φ = -37º 20' 29,9"		
Fecha : 13/10/2011					λ = -59º 09' 15,9"		
AB/2	**CRA (MN=1)**	**CRA (MN=10)**		**N° capa**	**espesor**	**profundidad**	**resist**
2	147,01			**1**	**1,30**	**1,30**	**230,00**
3	92,22			**2**	**2,10**	**3,40**	**24,00**
4	56,90			**3**	**1,30**	**4,70**	**43,00**
5	45,17			**4**	**6,50**	**11,20**	**73,00**
6,5	40,93			**5**	**8,00**	**19,20**	**8,50**
8	39,81			**6**	**7,00**	**26,20**	**22,00**
10	41,04			**7**			**950,00**
13	42,09						
16	41,50						
20	39,57						
25	36,43	36,40					
32	34,74	34,24					
40		33,13					
50		36,54					
65		46,32					
80		59,82					
100		84,49					
125							



ANEXO IV
ESQUEMA y PERFIL GEOLÓGICO