



3 ANEXO C: INVESTIGACIÓN GEOTECNICA, OBRA ACUEDUCTO SIERRAS CHICAS

C- Resultados del Estudio

En el punto C.1 se exponen las principales características generales del área y de la Alternativa seleccionada, considerándose los aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos más destacados. Además, se exponen las Tablas 1 y 2 donde se detalla por tramo, las características principales de los sectores que atravesará, su ubicación, longitud, dificultad para su excavación y probable tipo de zanjeo en cada tramo de la traza. En el punto C.2, se exponen las principales características geológicas y geotécnicas de los probables sitios donde se emplazarán las cisternas y estaciones de bombeo. En el punto C.3, se exponen las características de los sitios evaluados en la traza.

C.1 – Geomorfología, geología y dificultad para excavación en traza

Aspectos Generales

La ciudad de Villa Allende se ubica en la vertiente oriental de las Sierras Chicas de Córdoba, dentro de la Unidad Geomorfológica denominada por Capitanelli (1979) como Macizos Antiguos.

En la zona en estudio se pueden identificar rasgos geomorfológicos típicos de esta unidad y de su pie de monte, como así también otras unidades geomorfológicas menores características de las áreas serranas o periserranas, como por ejemplo el pequeño valle del arroyo Saldán y sus subunidades asociadas.

Dentro de la Unidad Macizos Antiguos, en el área en estudio se desatacan las últimas estribaciones y el pie de monte de la Sierra de Saldán. Geológicamente esta sierra está conformada principalmente por conglomerados y areniscas de la Formación Saldán de edad Cretácica y rocas del basamento cristalino que, en este caso, son gneis y esquistos metamórficos con intrusiones de rocas ígneas de tipo granítica. El primer tipo de litologías (conglomerados y areniscas), le imprimen al paisaje y a las morfologías asociadas las características típicas de las sierras conformadas por este tipo de rocas, como por ejemplo serranías con forma de “espina de pez”.

El pie de monte de esta unidad se presenta como lomadas suaves separadas por bajos pandos de fondo plano. Las laderas de estas lomadas presentan pendientes del orden del 1 % al 3%, y están conformadas por sedimentos limo loésicos y aluviales, con afloramientos esporádicos de la Formación Saldán.

El Arroyo Saldán, que es de carácter semi permanente, le imprime sus rasgos al sector en estudio. En este sentido, se puede destacar que dicho arroyo a definido su propio valle, dentro del cual se destacan subunidades geomorfológicas como la llanura aluvial, terrazas y lechos ordinarios y extraordinarios. Geológicamente el arroyo ha definido una columna sedimentaria conformada por sedimentos aluviales de granulometrías gruesas (rodados, gravas y arenas) que ha sido cubierta por sedimentos limo arenosos y limosos retransportados de origen eólico y fluvioeólico.



Aspectos Particulares de la alternativa seleccionada

Desde su inicio en la actual cisterna en Villa Allende, hasta su finalización en las inmediaciones de Unquillo, la traza seleccionada atraviesa las dos unidades antes mencionadas (Lomada Suaves y Terrazas del Arroyo Saldán).

En los primeros 5300 m, analizados para este trabajo, la traza se emplaza alternativamente en la primera y la segunda unidad. La primera está conformada por una zona de lomas planas y bajos pandos y anchos. La segunda, donde se acerca al cauce del Arroyo Saldán, en las terrazas y área vinculadas al mismo.

El segundo tramo, que no es analizado en este trabajo, la traza tiene una longitud de aproximadamente 4650 m y será emplazada en las terrazas del arroyo Saldán, que presenta una morfología plana a semiplana con algunas pequeñas lomas muy suaves.

Desde el punto de vista geológico, las lomas onduladas presentan una litología diversa. Se pudo identificar un sedimento limo arenoso con rodados, que presenta profundidades variables (promedio 1,0 m) y apoya sobre un sedimento aluvial conformado por rodados de hasta 50 mm, con una matriz limo arenosa con grava y rodados. Este último material aluvial en algunos tramos puede encontrarse muy cercano a la superficie. Existen tramos, como por ejemplo en las inmediaciones del Golf Club, donde se presenta un material limo arenoso con gravas y desarrollo de suelos orgánicos. En el extremo Noreste del Golf Club sobre la calle Madrid, se pudo identificar el afloramiento del techo de la formación Saldán que está conformado por suelos areno limosos o gravo areno limosos rojizos que apoyan sobre estratos delgados de arenisca, medianamente compactos.

En el tramo, que se desarrolla en las terrazas del arroyo Saldán, la litología es un poco más homogénea, observándose un cubierta de limos arenosos o limo retransportados, con desarrollo de suelos orgánicos en superficie. Estos limos tienen profundidades variables de aproximadamente 1,0 m a 2,5 m y apoyan sobre un aluvión compuesto por rodados de hasta 0,8 m de diámetro. Este aluvión presenta una matriz areno limosa con gravas y rodados, en algunos casos cementada con un material calcáreo (tipo tosca). En algunos tramos este aluvión se puede acercar significativamente a la superficie del terreno, o estar por debajo de los 3,0 m.

Por último, debe mencionarse la posible presencia de la napa freática fluctuante. En el primer tramo existe un sector comprendido en las inmediaciones de la Av. Goycochea, donde la napa freática se encuentra muy cercana a la superficie, en zonas a menos de 1 m de profundidad. Además, existen tramos, donde la napa freática está directamente vinculada al pelo de agua del arroyo Saldán que se comporta como influente o efluente de acuerdo a la época del año en que se lo analice y el caudal que escurra por el mismo.

Desde el punto de vista constructivo, se observa que las mayores dificultades se presentan por la aparición de materiales aluviales y rodados cercanos a la superficie, que puedan desmoronarse de acuerdo con la profundidad y ancho de la zanja. Otra dificultada se puede dar en el sector donde aflora el techo de la Formación Saldán, donde el material es más compacto y puede ser necesario implementar tareas de escarificación. Por último, se pueden presentar algunas dificultades por la existencia de la napa freática cercana a la superficie que complicaría las tareas de zanjeo y colocación de la cañería. Se considera que, en casi todos los casos, se puede trabajar con excavación o zanjeo convencional, sin la necesidad de realizar voladuras. La



ejecución de éstas últimas, en lugares muy puntuales (rodados muy grandes u otros), estará sujeto al relevamiento de detalle cuando se realice la apertura de zanjas y se esté por ejecutar la obra.

En el plano y en la tabla que se expone a continuación se puede observar un esquema preliminar con los principales tipos de materiales a atravesar con la traza y su posible grado de dificultad para la excavación en sus distintos tramos. Esta información deberá ser verificada con relevamientos de detalle cuando se realice ejecución de las tareas de excavación.

Tabla 1 - Resumen de relevamiento geotécnico del año 2006

TRAMO ANALIZADO EN EL PRESENTE TRABAJO (Cisterna Villa Allende a Pg 5+300)								
Tramo Long. aprox.	Progres.	Tipo de calzada	Unidad Geom.	Tipo litológico sup.	Dificultad p/ excav.	Zanjeo conv.	Zanjeo c/ escar.	Zanjeo c/ volad
Nº 1 490 m	0+000 a 0+490	Calle pavime nt	Pie de monte, ond. Terraza arroyo, plano	Limo aren c/ clastos grandes Aluvional (ar. limo c/ rodad.)	Media (Mater. densos, demor. de arenas y extist. de grav.)	SI	SI (p)	-
Nº 2 240 m	0+490 a 0+730	Calle pavime nt	Pie de monte, ondul.	Limo arenoso c/ grav.	Media (Mater. densos, demor. de arenas y extist. de garv.)	SI	-	-
Nº 3 410 m	0+730 a 1+140	Av. pav y calle tierra	Pie de monte, ondul.	Limo arenoso c/ grav.	Baja a Media (Por freática)	Si	-	-
Nº 4 120 m	1+140 a 1+260	Calle tierra	Pie de monte, ondul.	Techo de F. Saldán (arenisca densa)	Media a Alta (Mater. densos)	Si	SI (p)	(e)
Nº 5 860 m	1+260 a 2+120	Calle tierra, Av. pavime nt y espacio público	Terraza arroyo, plano	Limo aren c/ clastos grandes Aluvional (arena limosa c/ rodad.)	Baja a Media (Mater. densos, demor. de arenas y grav.)	SI	SI (p)	-
Nº 6 220 m	2+120 a 2+340	Calle tierra	Pie de monte, ondul.	Lim aren c/ clastos y gravas areno limosa	Media a alta (Mater. densos, demor. de aren y extist. de grav.)	SI	SI (p)	-
Nº 7 2120 m	2+340 a 4+460	Calle tierra c/ cruces pavime nt	Pie de monte, ondul.	Limo arenoso c/ grav.	Baja	Si		
Nº 8 840 m	4+460 a 5+300	Calle tierra	Pie de monte, ondul.	Techo de F. Saldán (arenisca	Media a Alta (Mater. densos) p/	Si	SI (p)	(e)



				densa) y Limo arenoso c/ grav.	tramos y Baja en otros			
--	--	--	--	--------------------------------------	---------------------------	--	--	--

Tabla 2 - Resumen de relevamiento geotécnico del año 2005

TRAMO NO ANALIZADO EN EL PRESENTE TRABAJO (Pg 5+300 hasta Cisterna Unquillo)								
Tramo Long. aprox.	Anterior Denom. Tramo	Tipo de calzada	Unidad Geom.	Tipo litológico sup.	Dificultad p/ excav.	Zanjo convencional	Zanjo c/ escarificación	Zanjo c/ voladura
Nº 9 450 m	Nº 6	Calle tierra	Pie de monte, ondul.	Pie de monte, ondul.	Limo arenoso c/ grav.	Baja	Si	
Nº 10 750 m	Nº 7	Calle tierra	Terraza arroyo, semi-plano	Limo arenoso y Aluvional (ar. lim. c/ rodad.)	Med. (demor. de aren. y rod grandes)	SI	SI (p)	(e)
Nº 11 1500 m	Nº 8	Banq. Ruta	Terraza arroyo, semi-plano	Limo arenoso y Aluvional (ar. lim. c/ rodad.)	Med. (demor. de aren. y rod. Grandes - freática)	SI	SI (p)	(e)
Nº 12 300 m	Nº 9	Banq. Ruta (Inter. urb.)	Terraza arroyo, semi-plano	Limo arenoso y Aluvional (ar. lim. c/ rodad.)	Med. (demor. de aren. y rod grandes)	SI	SI (p)	(e)
Nº 13 1200 m	Nº 10	Banq. Ruta	Terraza arroyo, semi-plano	Limo arenoso y Aluvional (ar. lim. c/ rodad.)	Med. (demor. de aren. y rod grandes - freática)	SI	SI (p)	(e)
Nº 14 750 m	Nº 11	Calle tier. y tram. Pavim.	Terraza arroyo, semi-plano	Limo arenoso y Aluvional (ar. lim. c/ rodad.)	Med. (demor. de aren. y rod grandes - freática)	SI	SI (p)	(e)
Nº 15 160 m	Nº 12	Sin calzada	Terraza arroyo, semi-plano	Aluvional (ar. lim. c/ rodad.)	Med. (demor. de aren. y rod grandes - freática)	SI	SI (p)	(e)

Nota I: Las longitudes expresadas en el segundo tramo son indicativas y pueden variar.

Nota II: La (p) indica la probable necesidad de ejecutar ese tipo de zanjo. La (e) indica la eventual necesidad de ejecutar ese tipo de zanjo en algún sitio puntual.

C.2 – Descripción de los Perfiles Estratigráficos y Parámetros Geotécnicos en sitios de traza seleccionados

A continuación se hace una descripción y se adjunta una tabla con los principales parámetros geotécnicos analizados en cada uno de los perfiles estratigráficos



identificados en los sondeos realizados en los sitios seleccionados a lo largo del tramo de la traza analizado.

Sitio N° 1 (prog. aprox. 1+360)

Este sondeo se realizó en el camino de tierra que funciona como colector de la Av. Padre Luchesse, a aproximadamente 20 m de la margen izquierda del Arroyo Saldán. Desde superficie el perfil estratigráfico presenta un limo arenoso con gravilla castaño claro que, a partir de los -1,2 m, grada a una grava limosa muy densa y compacta. El nivel freático se encuentra a - 1,8 m y está vinculado al pelo de agua del arroyo.

Prof (m)	Descripción muestra	NG SPT	CU	H %	Pas T-200	LL	LP	IP
1,0	Limo arenoso c/ grav	7	SM	12,89	38,27		NP	
2,0	Grava limosa	R	GM	8,27	4,76		NP	

R = Rechazo en sondeo SPT

Sitio N° 2 (prog. aprox. 1+790)

Este sondeo se realizó en una de las plazoletas que se encuentran cuando la Av. Padre Luchesse hace tope con el Polideportivo Municipal. Desde la superficie y hasta la profundidad estudiada, el perfil estratigráfico presenta un limo arenoso, pardo oscuro, poco denso y compacto, con clastos diseminados de hasta 2". El nivel freático no fue identificado.

Prof (m)	Descripción muestra	NG SPT	CU	H %	Pas T-200	LL	LP	IP
1,0	Limo arenoso c/ clastos	5	SM	9,36	48,75		NP	
2,0	Limo arenoso c/ clastos	7	SM	6,82	33,39		NP	

Sitio N° 3 (prog. aprox. 2+330)

Este sondeo se realizó en la esquina de la Av. Universitaria y la calle Victorino Rodríguez. Desde la superficie y hasta la profundidad estudiada, el perfil estratigráfico presenta una grava areno limosa muy densa y compacta. El nivel freático no fue identificado.



Prof (m)	Descripción muestra	NG SPT	CU	H %	Pas T-200	LL	LP	IP
1,0	Grava areno limosa	38	SM	11,69	8,21	NP		
1,5	Grava areno limosa	R	GM	5,73	4,56	NP		

R = Rechazo en sondeo SPT

Sitio N° 4 (prog. aprox. 2+550)

Este sondeo se realizó en la Av. Universitaria en las inmediaciones de la calle Teruel. Desde la superficie y hasta la profundidad estudiada, el perfil estratigráfico presenta un limo arenoso con clastos de hasta 1,5", castaño oscuro que grada a castaño claro hacia abajo, poco denso y compacto. El nivel freático no fue identificado.

Prof (m)	Descripción muestra	NG SPT	CU	H %	Pas T-200	LL	LP	IP
1,0	Limo arenoso c/ clastos	3	ML	14,13	61,45	23,83	20,44	3,39
2,0	Limo arenoso c/ clastos	8	ML	13,12	55,66	NP		

Sitio N° 5 (prog. aprox. 3+140)

Este sondeo se realizó en la esquina de las calles Salamanca y Nicaragua. Desde la superficie y hasta la profundidad estudiada, en el primer metro el perfil estratigráfico presenta un limo algo arcilloso, pardo oscuro que grada a castaño oscuro hacia abajo, húmedo, con clastos redondeados de hasta 1", muy poco compacto. El nivel freático no fue identificado.

Prof (m)	Descripción muestra	NG SPT	CU	H %	Pas T-200	LL	LP	IP
1,0	Limo arcillo aren c/ clastos	3	CL - ML	17,66	89,77	26,15	20,66	5,49
2,0	Limo arenoso c/ clastos	5	ML	15,77	87,31	23,84	20,06	3,78

Sitio N° 6 (prog. aprox. 3+730)

Este sondeo se realizó sobre la Av. esquina de las calles Salamanca y Valencia. Desde la superficie y hasta la profundidad estudiada, el perfil estratigráfico presenta un limo arenoso con clastos de hasta 1", castaño oscuro que grada a castaño claro hacia abajo, poco denso y compacto. El nivel freático no fue identificado.



Prof (m)	Descripción muestra	NG SPT	CU	H %	Pas T-200	LL	LP	IP
1,0	Limo arenoso c/ clastos	4	ML	13,86	77,29	24,10	20,53	3,57
2,0	Limo arenoso c/ clastos	7	ML	11,61	72,76	NP		

Sitio N° 7 (prog. aprox. 4+500)

Este sondeo se realizó en la esquina de las calles Madrid y Progreso. Desde la superficie y hasta la profundidad estudiada, el perfil estratigráfico presenta un limo arcillo arenoso con clastos de hasta 1" que, a partir de los - 0,8 m, grada a una grava areno limosa muy densa y compacta. El nivel freático no fue identificado.

Prof (m)	Descripción muestra	NG SPT	CU	H %	Pas T-200	LL	LP	IP
1,0	Grava areno limosa	5	CL - ML	13,59	70,67	23,95	18,67	5,28
1,5	Grava areno limosa	27	GM	8,67	4,79	NP		

Sitio N° 8 (prog. aprox. 5+070)

Este sondeo se realizó en la esquina de las calles Madrid y San Lorenzo. Desde la superficie y hasta la profundidad estudiada, en el primer metro el perfil estratigráfico presenta un limo arenoso algo arcilloso, pardo oscuro que grada a castaño oscuro hacia abajo, muy poco compacto. El nivel freático no fue identificado.

Prof (m)	Descripción muestra	NG SPT	CU	H %	Pas T-200	LL	LP	IP
1,0	Limo arcillo aren c/ clastos	4	CL - ML	14,58	84,22	24,64	19,68	4,96
2,0	Limo arenoso c/ calastos	6	ML	15,45	86,01	22,98	20,23	2,75

C.3 – Descripción de los Perfiles Estratigráficos y Parámetros Geotécnicos en sitios de Estaciones de Bombeo y Cisternas

A continuación se describe la secuencia estratigráfica general de los sitios donde probablemente se emplacen las estaciones de bombeo o impulsión.



Sitio de Cisterna y Estación de Bombeo N° 1 (Villa Allende)

Desde la superficie hasta profundidades variables de - 1,5 m a - 2,5 m, aparece un conglomerado polimictico compuesto de arenas gravosas o gravas arenosas con calastos y rodados dispersos de 0,4 m. Desde la profundidad antes mencionada y en algunos casos aflorando en superficie, aparece el techo de la Formación Saldán, caracterizado por areniscas rojas muy densas y compactas. Prácticamente desde la superficie, la resistencia a la penetración es muy elevada, por lo tanto no se pudo avanzar con los Ensayos de Penetración. En este sitio el nivel freático no fue identificado.

Este sitio presenta un grado de dificultad Medio a Alto, que puede dificultar las tareas de excavación debido a la presencia de los materiales aluvionales con rodados grandes y que quizás requiera tablestacados o entibados. Esto último, estará supeditado al tipo de fundaciones y profundidad de las instalaciones previstas. De acuerdo con los ensayos de resistencia a la penetración realizados, estos materiales no presentan limitantes para el soporte de estructuras pesadas.

A continuación se expone una tabla con la identificación de los suelos del perfil estratigráfico del pozo P1.

Prof (m)	Descripción muestra	NG SPT	CU	H %	Pas T-200	LL	LP	IP
1,0	Grava areno limosa	R	GP	4,60	3,09		NP	
2,0	Grava areno limosa	R	GP	5,17	4,41		NP	

Los parámetros geotécnicos para dos posibles cotas de fundación son los siguientes:

- Cota de fundación: Superficial a - 0,5 m
- Tensión Admisible: σ adm. 20 Tn/m²
- Material de apoyo: Conglomerado polimictico

- Cota de fundación: - 1,0 m
- Tensión Admisible: σ adm. 50 Tn/m²
- Material de apoyo: Conglomerado polimictico

Sitio de Cisterna y Estación de Bombeo N° 2 (Unquillo)

Desde la superficie hasta una profundidad que varía entre los - 0,8 m a - 1,5 m de profundidad, aparece un limo arenoso pardo oscuro con rodados y gravas de hasta 2". Por debajo de esta profundidad, aparece un material aluvional (grava arenosa) con abundante cantidad de rodados grandes, muy denso y compacto. Por debajo de los - 2,0 m la resistencia a la penetración es muy elevada, por lo tanto no se pudo avanzar con los Ensayos de Penetración. El nivel freático está directamente vinculado al pelo de agua del arroyo Saldán.



Este sitio presenta un grado de dificultad medio a alto debido a la presencia de los rodados y la arena con grava. Esta situación se puede ver agravada por la fluctuación del nivel freático, que probablemente requiera la depresión de la napa y tablestacados o entibados. De acuerdo a lo observado, este sitio no presentaría limitantes para la fundación de estructuras pesadas.

A continuación se expone una tabla con la identificación de los suelos del perfil estratigráfico del sondeo S2.

Prof (m)	Descripción muestra	NG SPT	CU	H %	Pas T-200	LL	LP	IP
1,0	Arena limosa c/ clastos	R	SM	5,74	16,51			NP
2,0	Grava areno limosa	R	GP	4,29	4,41			NP

Los parámetros geotécnicos para dos posibles cotas de fundación son los siguientes:

- Cota de fundación: Superficial a - 0,5 m
- Tensión Admisible: σ adm. 10 Tn/m²
- Material de apoyo: Arena limosa con clastos

- Cota de fundación: - 1,0 m (variable)
- Tensión Admisible: σ adm. 30 Tn/m²
- Material de apoyo: Material aluvional

D- Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con los resultados de los estudios realizados se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Desde el punto de vista geológico y geomorfológico, en esta alternativa existen dos zonas claramente diferenciadas.
- Una primera en la denominada Unidad Geomorfológica Pie de Monte Ondulado, que está conformada por lomas suaves y bajos pandos perteneciente a la zona pedemontana de las Sierras Chicas. Ésta presenta una cobertura de sedimentos eólicos o aluviales modernos (limos, arenas y gravas) y una pequeña zona de afloramiento de gravas arenosas correspondientes al techo de la Formación Saldán.
- Una segunda zona, que corresponde a las terrazas del arroyo Saldán, y presenta sedimentos aluviales y eólicos en superficie y aluvionales a partir de los - 1,0 m a - 2,0 m, que varía dependiendo del sector implicado.
- Existe un sector, en las inmediaciones de la Av. Goycochea en el ingreso a Villa Allende, donde el nivel freático se encuentra fluctuando cercano a la superficie (menos de 1 m de profundidad).



En el segundo sector, el nivel freático está vinculado a las fluctuaciones del pelo de agua del arroyo Saldán.

- En función del tipo de materiales de superficie, ambas zonas presentan distintas dificultades para la excavación del zanjeo. En la primera pueden presentar cierta dificultad los materiales aluviales (arenas, gravas y rodados) y las areniscas correspondientes a la Formación Saldán. En la segunda, la dificultad está dada por la posible presencia de rodados de gran tamaño y materiales aluviales con diverso grado de densidad cercanos a la superficie.
- Para las excavaciones de los zanjeos, tanto en la primera zona, como en la segunda, no se observan mayores dificultades, con excepción de algunos tramos donde la freática esté alta o puedan existir materiales aluviales sueltos y la zanja sea profunda. En este caso se deberán prever tablestacados o entibados y quizás la depresión de la napa. Eventualmente puede haber algunos sitios donde se deberán prever escarificaciones cuando la roca esté muy alterada o fracturada (ejemp.: areniscas) o voladuras muy puntuales donde puedan existir rodados muy grandes que presenten dificultad para su remoción.
- De acuerdo con todo lo anterior y con la correspondiente verificación que se deberá hacer durante la ejecución de la obra, en la totalidad de la traza, se debería prever aproximadamente un 80 % de zanjeo convencional, un 20 % de zanjeo con escarificación, con eventuales sectores muy puntuales con voladuras.
- En los sitios de emplazamiento de las Estaciones de Bombeo, no se observan inconvenientes desde el punto de vista de la capacidad portante de los materiales para las fundaciones. En el sitio de la cisterna de Villa Allende, se observan dificultades desde el punto de vista de las tareas de excavación, por la densidad y compactación de los materiales que además. Además, éstos pueden ser susceptibles a desmoronarse por la presencia de rodados, gravas y arenas. En el sitio de la Cisterna de Unquillo, la existencia del nivel freático elevado en el sector ubicado en las inmediaciones del arroyo, puede dificultar las tareas de excavación. Al igual que para el caso del zanjeo, debe considerarse que este nivel freático está vinculado al pelo de agua del arroyo y puede bajar con el mismo en estiaje.
- Para las excavaciones en los sitios de las estaciones de bombeo, si las mismas o sus fundaciones se emplazan muy por debajo del terreno natural, se deberá prever la ejecución de tablestacados o entibados y probablemente la instalación de equipos de bombeo para la depresión de la napa en la Cisterna de Unquillo.
- Para solucionar las dificultades planteadas, se sugiere emplazar las cisternas y estaciones de bombeo por sobre el nivel del terreno natural, mediante la construcción de un terraplén compactado.