

INFORME GEOLOGICO SOBRE EL PROYECTO DE
DIQUE EN LA CONFLUENCIA DE LAS QUEBRADAS DE LA TOMA Y

ASTILLEROS - PROV. DE SALTA

p o r

Horacio J. Harrington

1 9 3 9



SIRVASE CITAR

Nota N°

SECCIÓN 45
ESTANTE. 6244(39)

**INFORME GEOLOGICO SOBRE EL PROYECTO DE
DIQUE EN LA CONFLUENCIA DE LAS QUEBRADAS DE LA TOMA Y
ASTILLEROS - PROV. DE SALTA**

P O F

Horacio J. Harrington

1 9 3 9

Nota 0-8950-39

Informe geológico sobre el proyecto de dique en la
confluencia de las Quebradas de la Toma y Astilleros, Salta

por Horacio J. Harrington

El rápido reconocimiento efectuado en las quebradas en la zona occidental de la finca "Las Costas" tuvo el propósito de investigar las condiciones geológicas del lugar elegido para el embalse proyectado en la confluencia de las Quebradas de la Toma y de Astilleros y, en caso de que este resultara impracticable, estudiar las alternativas posibles para aumentar el caudal de agua potable para el servicio de la ciudad de Salta.

Convendrá, pues, iniciar este informe con una exposición somera de la constitución geológica de la zona reconocida entre las puestas de las quebradas transversales de Astilleros y Arteaga al este y el río Arenales al oeste.

Constitución geológica de la zona occidental de la finca "Las Costas".

La región occidental de la finca "Las Costas" se caracteriza por su relieve acentuado con desniveles marcados. Varias quebradas transversales que son de norte a sur, las de Arteaga, Puruña, La Toma, Astilleros y Potrero Grande corren dos rumbos general oeste-este para unirse finalmente formando el río Peñalba que, a su vez, desagua el Salta en el río ^{Peña Alba} Lorenzo.

Aquella zona montañosa está formada por rocas proterozoicas grauwacas y cuarcitas de grano fino y color verdoso oscuro con pizarras y filitas intercaladas de color morado, verdoso oscuro, verde claro, gris y azul oscuro. Estas rocas se hallan fuertemente plegadas y contorsionadas con rumbo N 330° E hasta casi norte-sur. Los planos axiales de los pliegues se hunden fuertemente hacia el oeste con ángulo variable entre 75° y casi vertical. Las pizarras y filitas, aplastadas entre las camadas más resistentes de cuarcitas y grauwacas, se ha-

llan por lo general sumamente deformadas y, muy a menudo, estas rocas muestran claros indicios de "Riebel" y amasamiento. A veces se observa como uno de estos bancos se adelgaza y desaparece en corto trecho en forma de cufia, en la dirección del rumbo, debido al aplastamiento entre dos estratos resistentes de cuarcitas movidos diferencialmente.

Los pliegues son, por lo general, muy agudos y allí donde no se observan charnelas por deficiencia de los afloramientos se tiene la impresión de que el conjunto de estratos no se halla plegado sino simplemente hundido hacia el oeste con ángulo de unos 80° . Sin embargo, en todos los afloramientos de alguna extensión, se advierte inmediatamente la presencia de pliegues agudos.

El olivaje primario se halla muy desarrollado, especialmente en las rocas arcillosas, pero estas a menudo presentan también olivaje de fracturación o falso debido a los movimientos diferenciales. Por otra parte varios sistemas de diaclasas sumamente desarrolladas se advierten aun en las rocas más resistentes.

Cerca de la puerta de la quebrada de Astilleros, en su falda austral y a unos 75 u 80 metros aguas arriba del lugar elegido para el empotramiento del muro del cierre, aparece un grupo de cuarcitas cámbricas, color rojizo, con numerosos restos de Scolithus, entre las cuales se intercalan delgados bancos muy deformados de pizarras y filitas moradas. Estas rocas tienen también rumbo norte-sud y se inclinan hacia el oeste con ángulo medio de 80° .

Las cuarcitas y pizarras cámbricas forman una delgada escama tectónica de apenas unos 90 metros de espesor, sobre la cual se hallan corridas, a lo largo de un plano también hundido fuertemente hacia el oeste, las rocas proterozoicas que afloran algo más hacia el oeste en el faldeo austral de la misma quebrada.

Sobre las rocas proterozoicas y cámbricas sumamente deformadas, se asientan, en el tramo inferior de las quebradas, los remanentes de grandes conos de deyección cuaternarios que se han unido lateralmente formando una planicie aluvial de piedemonte.

Estos conos se hallan, en la actualidad, muy recortados por la erosión, pero es posible distinguir todavía, combinando los perfiles de las diversas quebradas, los restos de al menos cuatro niveles de acumulación distintos en forma de conos escalonados, encajados los unos en los otros.

En la Q. de Arteaga, especialmente, puede observarse hasta unos dos kilómetros aguas arriba de su puerta, los restos de un antiguo relleno que hoy forma un escalón a cada lado, cortado por una pared vertical de unos 10 a 12 metros de altura. Este acarreo se continúa, hacia afuera, en unos de los antiguos conos cuaternarios formando la mesada elevada que se extiende entre la Q. de Arteaga y de Puruña. Otro escalón más bajo se nota, especialmente en esta última, con un desnivel de escasos metros sobre la vaguada actual.

Este manto de acarreo no existe, y con toda probabilidad nunca existió, sobre las crestas o filos que separan las vaguadas transversales en el tramo superior y medio de las quebradas, pero aparece, si bien que delgado, cubriendo las rocas antiguas de estos filos en la región cercana a las puertas de las quebradas. El espesor del acarreo aumenta rápidamente hacia el este y, en las puertas de las quebradas llega a ser considerable. Aquí no existe ya afloramientos de rocas antiguas y todo se halla recubierto por un manto continuo de acarreo.

Las actuales vaguadas se hallan cortadas, en esta zona, en el acarreo cuaternario que, de esta manera, forma las laderas norte y sud de todas ellas sin que aparezcan rocas antiguas.

Es evidente que este acarreo, depositado en forma de grandes conos unidos lateralmente, es, al menos en parte el producto de la denudación del alto cordón de montaña que, con rumbo norte sud, se eleva al oeste del actual valle longitudinal del río Arenales y que constituye la prolongación actual del Nevado del Castillo. El valle de erosión retrógrada del río Arenales es, pues, posterior a la acumulación de aquellos conos. Este hecho salta a la vista en el Portezuelo de la Quebra-

da de Astilleros donde, encima de las rocas proterozoicas muy contorsionadas, se ha conservado un remanente de unos 10 metros de espesor de acarreo que forma el portezuelo mismo. Se trata de un antiguo relleno de la vaguada primitiva, comparable al que se encuentra actualmente en movimiento en el fondo de todas las quebradas, relleno que indudablemente está ligado con uno de los dos niveles de acumulación más altos de la planicie aluvial que se extiende más al este.

Después de la captura de las cabeceras antiguas de las quebradas transversales por el valle de erosión retrógrada del río Arenales ha tenido lugar la deposición de nuevo material de acarreo en varios conos escalonados y encajados. Tal hecho se observa, por ejemplo, en la antigua cabecera de la Quebrada de Astilleros, que hoy desemboca en la margen oeste del Río Arenales. Allí se observa un cono muy característico, cortado en su frente por el río Arenales, y en el que se encajan en escalón dos conoides de menores proporciones.

Al este del río Arenales, cortadas las comunicaciones con la zona de alta montaña y de las cabeceras primitivas, el acarreo posterior fué de menor volumen y se redujo, ante todo, a la destrucción y redeposición del material de los antiguos conos cuaternarios.

Al alejarnos de las puertas de las quebradas hacia el este nos hallamos ya en la gran planicie aluvial que se continúa hasta la ciudad de Salta al pie del Cerro San Bernardo. Esta planicie, también producto de la acumulación antigua, se halla ya en parte recortada por la erosión moderna.

La acumulación de acarreo al oeste del Cerro San Bernardo o sea debajo mismo de la ciudad de Salta, ha de ser, pues, muy considerable y probablemente alcanza a varios centenares de metros.

Investigaciones geológicas en el lugar elegido para el embalse:

Las laderas de aire del lugar escogido para el empotramiento del muro de cierre pueden ser estudiadas por tres pequeños socavones, de unos 8 metros de profundidad cada uno, ubicados dos de ellos e

la ladera austral y uno en la septentrional. Por otra parte el tirante de agua puede ser parcialmente investigado por un pozo de unos 6 metros de profundidad ubicado aproximadamente a distancias iguales de ambas laderas.

La ladera sud está formada, en el lugar elegido para el cierre, por acarreo de uno de los antiguos conos de deyección ya mencionados. Se trata de un acarreo potente que, en apariencia, constituye en este lugar, toda la cresta que separa las quebradas de Astilleros y del Potrero Grande.

Este acarreo consiste en una masa de enormes bloques hasta de varias toneladas y rodados de todos tamaños hasta muy pequeños, envueltos por una matrix arenoso-arcillosa y, en parte, suavemente arcillosa, burdamente estratificada con alternancia de capas donde abundan los rodados y bloques con poco cemento y capas constituidas mayormente por arcillas arenosas con rodados más pequeños y más dispersos.

Algo más al oeste, a unos 80 metros del lugar donde se hallan ubicados los socavones, la ladera de la quebrada se halla formada por las cuarcitas y pizarras cámbricas de color rojizo ya mencionadas. Estas rocas afloran en la parte baja de la ladera llegando hasta unos 30 metros sobre el nivel de la vaguada actual. Sobre ellas descansa el acarreo que, aguas abajo, cobra rápidamente mucho mayor espesor.

Este lugar, donde afloran rocas paleozoicas, sería conveniente geológicamente para apoyar uno de los extremos del muro de cierre, pero con la elección de este lugar se presentan dos inconvenientes: 1º) El muro tendría por lo menos 130 m. de longitud en vez de 70 y 2º) Se reduciría considerablemente el área del estanque y por consiguiente el volumen que contendría, dada la fuerte pendiente de la vaguada actual.

Es posible que estas rocas cámbricas se continúen hacia el este por debajo del acarreo que forma el filo y las laderas de aire,

pero los socavones efectuados demuestran que, de ser así, estas rocas se hallan muy profundas. Los desmontes para apoyar en ellas el extremo del muro, si aquellas rocas existen allí en realidad, serían de todas maneras muy grandes con lo cual se elevaría considerablemente el costo de la obra.

Sea esto como fuera las condiciones geológicas de la ladera de aire norte son tan desfavorables que prácticamente eliminan toda posibilidad de llevar a cabo el proyecto de embalse. La ladera norte está formada por un espolón saliente, en forma de pequeño mogote, íntegramente constituido por acarreo antiguo. En ninguna parte afloran rocas proterozoicas o cámbricas y por las características morfológicas del morrito, no es arriesgado concluir que está formado por entero por material de acarreo. El socavón practicado en él, por otra parte, solo ha encontrado esta clase de sedimentos, en un todo idénticos a los de la ladera austral.

En cuanto al pozo de investigación en el tirante de agua solo ha atravesado el acarreo actual que rellena el fondo de la quebrada. No se conoce, pues, con certeza la profundidad a la que se encuentra allí las rocas antiguas, pero por las condiciones de las laderas no sería aventurado afirmar que el espesor de este acarreo ha de sobrepasar los 15 y quizá los 20 metros, en su lugar de máxima potencia.

Las necesidades de la provisión de agua obligan a proyectar un dique cuya altura de cierre no sea menor de 29 m. sobre el nivel de máximo estiaje. Se ha calculado en el proyecto, por otra parte, otros 10 metros para llegar al piso de fundación. Por lo dicho en el párrafo anterior sobre el espesor del acarreo actual del fondo de la quebrada se puede prever que este cálculo no alcanza a la verdadera cifra y que 15 a 20 metros sería muy apropiado. Llegamos, pues, de esta manera a la altura de 44 a 49 metros para la altura de la corona sobre el piso de fundación, altura que no será la de un solo punto sino la de al menos 40 o' 50 metros del muro, ya que el ancho de la quebrada en la

angostura llega a los 70 metros. En estos datos hay que agregar el hecho de que el dique proyectado sería de tierra con pantalla impermeable.

Bajo estas condiciones el resultado de la investigación geológica en el lugar elegido para el empotramiento del muro de cierre es terminante en sentido negativo.

En un muro de esta altura la subpresión es un factor que ha de tenerse muy en cuenta. Unido esto a la condición muy desfavorable de las laderas de aire, y con toda probabilidad también las de agua, la seguridad de la obra dejaría mucho que desear.

Como se ha mencionado más arriba las laderas de aire están formadas por acarreo grueso con cemento arcilloso-arenoso. Los bloques rodados y fragmentos de este conglomerado son, en su gran mayoría, de rocas muy tenaces e impermeables tales como cuarcitas y grauwacas proterozoicas y cámbricas. La matrix, o "cemento" poco coherente de este conglomerado, se ha originado, ante todo, a expensas de la trituración de los materiales menos resistentes, pizarras y filitas, y por ese motivo es, en su mayor parte, muy arcilloso. Por otra parte la mayoría de los bloques y rodados presentan caras y superficies bien redondeadas o alisadas. Al mojarse este sedimento, ya sea por contacto directo, ya por ascenso capilar del agua, se produciría una imbibición diferencial. Los rodados de rocas impermeables quedarían intactos mientras que el cemento arenoso-arcilloso absorbería agua hasta convertirse en una masa plástica o semiplástica. Más de este fenómeno el agua en circulación provocaría la apertura de pequeños conductos en las zonas más porosas del sedimento. Bajo el simple efecto de la gravedad se producirían pequeños deslizamientos diferenciales a lo largo de las caras y superficies alisadas de los rodados de rocas duras y toda la masa sedimentaria entraría en movimiento. La suma total de aquellos deslizamientos tendría efectos desastrosos en la región de empotramiento del muro de cierre. A este hecho habría que sumar el efecto producido por la ~~sub~~ subpresión.

Fuera de este hecho que, de por sí, es suficiente para abogar en contra de la realización del proyectado dique, quedan otros argumentos en igual sentido, de los cuales convendría mencionar dos importantes.

El primero se refiere a las condiciones de relleno del futuro estanque. Debemos recordar que la pendiente de las vaguadas actuales es a veces muy fuerte, llegando hasta ser de 20° y que el acarreo que rellena el fondo de las quebradas se halla en migración constante hacia las partes bajas del relieve de montaña. Es, pues, muy posible que aun con adecuadas defensas escalonadas el peligro de embanque sea considerable.

El segundo se refiere a una cuestión ya ajena a la geología pero que parece conveniente no pasar por alto. El valle de Lerma es una región de paludismo endémico, donde no parecería conveniente la construcción de obras de embalse destinadas a la provisión de agua potable pues se corre el riesgo de que los estanques se conviertan en verdaderos criaderos de mosquitos. Solamente en el caso de poder cubrir las aguas con petróleo estaría justificada una obra de aquella índole.

Alternativas para substituir el proyectado dique:

Vista la imposibilidad, desde el punto de vista geológico, de llevar a cabo el proyectado embalse quedan tres alternativas para aumentar el caudal de agua potable para la provisión de la ciudad de Salta, a saber: 1°) Explotación integral de las aguas superficiales de la finca "Las Costas". 2°) Captación de parte del caudal del río Arenales y 3°) Posibilidad de alumbrar aguas cautivas en la misma ciudad de Salta o sus alrededores cercanos por medio de perforaciones profundas.

1. Explotación integral del agua de la finca "Las Costas"

La explotación de las aguas en la finca "Las Costas" encierra dos problemas independientes: el aprovechamiento de las aguas e

perforaciones de todas las quebradas de la zona occidental y la posibilidad de alumbrar mayor caudal en la región de la confluencia de los ríos Páralva y San Lorenzo.

El primer problema extraña la construcción de pequeños diques de afloramiento, del tipo del ya existente en la Quebrada de La Toma, ha efectuarse en las Quebradas de Arteaga y de Astilleros, obra que podría completarse con una toma superficial en la Quebrada de Puruña.

En la Quebrada de Astilleros se encuentra un buen lugar para la construcción de un dique de esta naturaleza en el punto fijo C 2, donde afloran rocas proterozoicas formando una angostura. Las laderas de la angostura están íntegramente compuestas por estas rocas y aquí el acarreo actual solo alcanza a un par de metros de espesor máximo sobre el fondo de la Quebrada, también formado por aquellas.

En la Quebrada de Arteaga es también factible un dique de esta naturaleza, el que sería aun más corto y económico que el de la quebrada anterior. El punto conveniente se halla en la angostura del Punto fijo 266. Aquí afloran rocas proterozoicas en la ladera sud pero la ladera norte se halla formada por acarreo donde, sin embargo, podría empotrarse perfectamente el pequeño muro. No existe mayor peligro de infiltraciones dado la constitución muy arcillosa del cemento del acarreo, pero si estas se produjeran sería muy fácil suprimirlas con un corto velo de inyección que, a lo sumo, tendría unos 20 metros de largo.

En la Quebrada de Puruña no conviene, dado el escaso caudal en máximo estiaje que apenas llega a 10 l/s y el ancho de la Quebrada, construir un dique de esta índole. De estimarse conveniente aprovechar este caudal podría construirse una toma superficial en forma de ranja abierta, orientada de N.W. a S.E. a través de la vaguada actual y oblicuamente al eje de la misma, en el acarreo actual que la cubre. El punto más conveniente para esta obra sería en las cercanías de los Puntos fijos 255 y 256. Aquí el ancho de la quebrada es

considerable y el costo de un dique de afloramiento o de una galería filtrante sería demasiado elevado en relación al caudal aprovechable. La zanja tendría, por su parte, el inconveniente de su relleno anual en la época de las lluvias que obligaría a su destape en el otoño.

Si estas obras se completaran con el entubamiento de la actual acequia conductora, con lo cual se impediría la pérdida por evaporación e infiltración de unos 50 l/s, se obtendría un caudal de 130 a 150 l/s más que el actual. Este caudal, sin embargo, no es suficiente para las obras de ampliación del servicio, con miras al futuro, que se proyecta y muy probablemente en otros 10 a 15 años sería totalmente inadecuado.

El segundo problema entraña la construcción de galerías filtrantes en la región de la confluencia de los ríos Peñalva y San Lorenzo.

Para la ubicación racional de estas galerías, que pueden ser una o varias, es imprescindible la construcción de un mapa de las aguas madres con curvas de nivel hidráulico de al menos 50 en 50 cms., mapa que debería ser construido en base a perforaciones repartidas en una cuadrícula a distancias mutuas de cuanto menos 100 m. y realizando observaciones diarias en cada sondeo, durante un período de estiaje, de las variaciones de nivel.

Las condiciones geológicas del lugar indican la probabilidad de alumbrar una cantidad de agua considerablemente mayor, pero esta solución, a fuer de costos por los trabajos preparatorios y de construcción, entrañaría la necesidad del bombeo permanente por falta de pendiente natural para la conducción del agua.

2°) Captación de parte del caudal del río Arenales

Esta parece ser, por el momento, la solución más práctica del problema. El río Arenales lleva un caudal, en máximo estiaje, de unos 1000 litros por segundo. Su curso longitudinal, que corre de norte a sud, se halla separado de la actual cabecera de la Quebrada de Atillo por un portezuelo que se eleva a 60 m. sobre el nivel de la vaguada. El portezuelo se halla formado por cuarcitas, pisarras y filitas

proterozoicas fuertemente plegadas con rumbo aproximadamente nortesud, sobre las cuales descansan unos 10 a 12 metros de acarreo cuaternario.

Es, pues, perfectamente factible la construcción de un tunel a través del portezuelo o de una cañería por encima del mismo para volcar parte del caudal del río Arenales en la Quebrada de Astilleros. El tunel tendría unos 800 m. de longitud y la cañería unos 3 kilómetros. Cualquiera de las dos alternativas es geologicamente factible, pero quizá la cañería resultara más conveniente por la tenacidad de algunas rocas, tales como las cuarcitas, que sería necesario atravesar con el tunel.

De realizarse esta obra convendría construir una simple toma superficial en el río Arenales dado que sería impracticable llegar al piso impermeable puesto que el acarreo actual del cauce ha de tener un espesor muy considerable. Una galería filtrante no tendría mayores ventajas, puesto que como se trata de sedimentos permeables gran parte del caudal seguiría perdiéndose.

El caudal vertido en la Quebrada de Astilleros podría volverse a captar por medio de un dique de afloramiento que podría ser el mismo propuesto para el punto fijo C 2.

3º). Posibilidad de alumbrar aguas cautivas en la ciudad de Salta

Existe aun otra posibilidad que solamente la exploración hidrogeológica por medio de sondeos profundos puede decidir: me refiero a la posibilidad de alumbrar aguas cautivas con nivel piezométrico positivo de la ciudad de Salta o sus alrededores.

Las características geológicas del Valle de Lerma indican que, muy probablemente, su disimetría se debe a una fractura longitudinal que pasa por el pie occidental del Cerro San Bernardo. Se ha mencionado ya el hecho de que el valle se halla relleno por un potente manto de acarreo cuaternario y reciente, ya en parte disectado por la erosión.

La circulación de las aguas profundas, probablemente en varias napas de aguas cautivas, se ha de efectuar primero hacia el este hasta el borde oriental del valle y luego hacia el sur, ya que hacia el norte se encuentra la divisoria transversal de las aguas en las lomadas del Campo de Belgrano. Por tal motivo, pues, el mayor caudal de las aguas subterráneas se hallará en el borde oriental del valle o sea cerca de la supuesta falla longitudinal al pie del Cerro San Bernardo, formado por areniscas y esquistos arcillosos del Paleozoico inferior (Ordóviciano).

Sería, pues, conveniente efectuar un sondeo de exploración en una localidad cercana a la ciudad de Salta que podría ser, por ejemplo, el Alto del Molino. El fuerte desnivel que existe entre el fondo del valle de esta zona y en la región de infiltración al oeste induce a sospechar la presencia de un fuerte nivel piezométrico positivo.

La profundidad del sondeo es difícil de calcular, pero convendría destinar para ello una máquina con capacidad de al menos 700 metros.

Conclusiones generales

La investigación geológica del lugar elegido para el empotramiento del muro de cierre del proyectado dique en la confluencia de las Quebrada de la Tona y Astilleros ha demostrado la imposibilidad de llevar a cabo el proyecto por las condiciones muy desfavorables de las laderas de la zona.

Como alternativas para aumentar la provisión de agua a la ciudad de Salta se proponen las siguientes:

1°) Explotación integral de las aguas de la finca "Las Costas": a) Construcción de diques de afloramiento en las Quebradas de Astilleros y Arteaga, b) Construcción de una toma superficial en la Quebrada de Puruña, c) Entubamiento de la acequia de conducción y d) Posibilidad de alumbrar mayor caudal por medio de nuevas galerías filtrantes en la confluencia de los ríos Pañalva y San Lorenzo.

2º) Captación de parte del caudal del río Arenales: a) Construcción de una toma superficial en el lecho del río, b) Construcción de un túnel de 800 m. de longitud o de una cañería de 3 kilómetros para la conducción de aquellas aguas, a través del Portezuelo de Astilleros, y volcarlas en la Quebrada de Astilleros y c) Construcción de un dique de afloramiento en esta quebrada para volver a captar aquel caudal.

3º) Posibilidad de alumbrar aguas cautivas en la ciudad de Salta: Previo a todo proyecto es necesario la investigación hidrogeológica por medio de un sondeo profundo con una máquina de 700 m. de capacidad.

De estas tres alternativas la primera solución es solo transitoria puesto que dentro de otros 10 a 15 años resultará inadecuada y será necesario recurrir a la segunda o la tercera. Parecería, pues, antieconómico efectuar las costosas obras que demandaría para que en el transcurso de pocos años resultara insuficiente.

De las otras dos soluciones restantes la captación de parte del caudal del río Arenales parece, por el momento y dado nuestro desconocimiento de las condiciones hidrogeológicas del Valle de Lerma, la más conveniente. Sin embargo, sería muy interesante la realización del sondeo de exploración propuesto que puede dar resultados muy satisfactorios.

Octubre 23 de 1939

H.J.H/ G.

H. J. H.