





## **INDICE**

<b>I.</b>	<b>GENERALIDADES</b>
<b>II.</b>	<b>OBRAS PROYECTADAS</b>
<b>II.1.</b>	<b>ACUEDUCTO</b>
<b>II.1.1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>II.1.2.</b>	<b>TRAZADO</b>
<b>II.1.3.</b>	<b>CÁLCULOS HIDRÁULICOS</b>
<b>II.1.3.a.</b>	<b>Régimen permanente</b>
<b>II.1.3.b.</b>	<b>Transitorios hidráulicos</b>
<b>II.1.4.</b>	<b>CÁLCULOS ESTRUCTURALES</b>
<b>ANEXO 1:</b>	<b>CÁLCULO HIDRÁULICO DEL ACUEDUCTO</b>
<b>ANEXO 2:</b>	<b>TRANSITORIOS HIDRÁULICOS</b>
<b>ANEXO 3:</b>	<b>CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL ACUEDUCTO</b>
<b>ANEXO 4:</b>	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO</b>
<b>ANEXO 5:</b>	<b>CÓMPUTO Y PRESUPUESTO</b>

## **I. GENERALIDADES**

En la actualidad la producción y distribución de agua potable de Catamarca se encuentra privatizada, se realiza mayormente desde el río El tala y la reserva del dique El Jumeal (Arroyo La Florida) y en un importante porcentaje, aproximadamente el 50% por bombeo de agua freática.

El gobierno subvenciona parte del costo del suministro de agua potable y recurrentemente se presentan problemas con el bombeo a la vez que se detectan procesos de depresión de napa e indicios de contaminación del acuífero por sobre-explotación.

Con anterioridad al presente trabajo se proyectó una obra que actualmente se encuentra en proceso licitatorio y que aportará un caudal permanente de 1 m<sup>3</sup>/seg desde el dique Las Pirquitas a partir de la construcción de casi 20 km. de acueducto de diámetro 800 mm, una planta de tratamiento y cisterna de almacenamiento de 6.000 m<sup>3</sup> ubicada a cota dominante para posteriormente distribuir por gravedad a las zonas más altas de la ciudad. Dicha obra requiere ser conectada a la red de distribución de la ciudad de Catamarca mediante un acueducto que es el motivo del presente trabajo.

## **II. OBRAS PROYECTADAS**

### **II.1. PROYECTO DEL ACUEDUCTO**

#### **II.1.1. INTRODUCCIÓN**

El acueducto está destinado a la alimentación por gravedad de la red de distribución de agua potable de la Ciudad de Catamarca, desde la Planta potabilizadora a construir en el cerro lindero a la Quebrada de Moreira.

El caudal a conducir por el acueducto será 1,0 m<sup>3</sup>/seg en el tramo inicial, disminuyendo a medida que va derivando caudales a la red de distribución.

Dicho caudal abastecerá por gravedad las zonas mas altas de la ciudad, previéndose el abastecimiento de las zonas mas baja de la ciudad por bombeo desde

las perforaciones existentes.

La longitud total del acueducto es de 9.379,60 metros contados a partir de la cisterna de 6.000 m<sup>3</sup> ubicada en el cerro lindero a la Quebrada de Moreira.

El diámetro de la conducción es de 900 mm hasta la progresiva 4.177,3 y luego de 800 mm hasta el final en la Planta 1, siendo el material seleccionado para los primeros 940 m acero para el tendido sobreelevado en relación a la superficie del terreno debido a la dificultad que implica la excavación en roca de la ladera, a partir de la progresiva 940 el desarrollo del proyecto es en PRFV enterrado, dado que un análisis primario del mercado indica que para el diámetro seleccionado es el más económico, pero las especificaciones técnicas para la licitación de la obra se realizará de forma abierta, permitiendo la oferta en otros materiales aptos para la construcción del acueducto.

### **II.1.2. TRAZADO**

El acueducto se inicia a la salida de la cisterna de la Planta Potabilizadora ubicada en el cerro lindero a la Quebrada de Moreira en cota 655, descendiendo luego por la ladera del cerro en dirección sudoeste, alcanzando cota 580 en la progresiva 933,4 al pie del mismo. Luego continúa con la misma dirección hasta llegar a la Av. Los Terevintos en la progresiva 1.729,4 y cota 546,81, continuando por dicha avenida hasta la Av. Moisés de Varela, donde alcanza la progresiva 4177,3 y cota 568,97; se produce aquí una derivación de 250 mm de diámetro hacia la cisterna ubicada en el Morro Choya. La traza continúa posteriormente en dirección sudoeste hasta alcanzar la calle Manuel de Salazar continuando por ella hasta Buenventura Rizo, donde se produce otra derivación en diámetro 300 mm para alimentar la directamente a la red en un punto ubicado en la zona de Rebomero Norte. La traza deriva luego por el valle aluvial del Arroyo Choya en dirección sudoeste hasta alcanzar la esquina formada por las calles Hualfin y El Alto, continuando por el borde del valle aluvial hasta Pje. Choya y de allí hacia el sur hasta Av. Bartolomé Castro por la que continúa hacia el oeste hasta Juan Quiroga por la que accede a la Planta 1. Antes del ingreso a la Planta 1 se produce una nueva derivación en diámetro 500 mm para alimentar la zona sur de la ciudad.

Desde la planta de la Quebrada de Moreira siguiendo la traza, se observa la constitución del suelo por material rocoso, formado por rocas metamórficas, hasta la desembocadura de la misma, donde se comienza a detectar la presencia de suelos, la distancia aproximada desde la planta es de 640 m. El material encontrado corresponde a gravas con finos y el material fino es limo, este manto se encuentra en toda la profundidad explorada.

En toda la extensión de la actual Avda. Los Terebintos el material observado es limo, que abarca toda la profundidad explorada (-5.00 m) en los últimos 1000 mts de la avenida, al aproximarse al cauce del arroyo Fariñango.

Los primeros 2000 mts de la avenida, a contar desde la intersección con la avenida Virgen del Valle el suelo encontrado corresponde a las arenas que en algunos casos se encuentra con material fino lo que da lugar a una arena limosa, y en otros casos con arena mas limpia, este perfil se registra en todo los sondeos realizados hasta esa intersección.

A partir de dicha intersección, desde el sondeo N° 7 (Progresiva 4.177,3), estando en la proximidad de las estribaciones del primer cordón montañoso se encuentran dos afloramiento rocosos en una extensión de 300 mts sobre la traza. En un punto intermedio se ejecuto un sondeo hasta dicho afloramiento

Entre los sondeo N° 10 (Progresiva 6.524,5) y N° 11 (Progresiva 6.714,5) se encuentra una arena gruesa, hasta la profundidad de 1.00 m y luego comienza un potente manto de grava.

A partir del Sondeo N° 11 (Progresiva 6.714,5) se mantiene este manto de grava en toda su profundidad

## **II.1.3. CÁLCULOS HIDRÁULICOS**

### **II.2.3.a. Régimen permanente**

El cálculo hidráulico de régimen permanente se realizó calculando las pérdidas por dos métodos:

Por una parte se utilizó la ecuación de Hazen y Williams:

$$j = \frac{1}{(0,279c)^{1,852}} \frac{Q^{1,852}}{D^{4,871}}$$

donde  $j$  es la pérdida de energía unitaria

$Q$  es el caudal de diseño

$D$  es el diámetro de la conducción

$c$  es el coeficiente que indica las características del material.

De acuerdo a lo indicado por el fabricante de conductos se ha adoptado un coeficiente  $c = 145$

También se aplicó para calcular las pérdidas la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$j = f \frac{1}{D} \frac{U^2}{2g}$$

donde

$U$  es la velocidad media en la sección

$g$  es la aceleración de la gravedad

$f$  es el coeficiente de fricción obtenido a partir de la ecuación de Wood que es una aproximación a la ecuación de Colebrook-White, donde se hace explícito el coeficiente  $f$ .

La fórmula de Wood es la siguiente:

$$f = a + bR_e^{-c}$$

$$a = 0,094 \left( \frac{k}{D} \right)^{0,225} + 0,53 \left( \frac{k}{D} \right)$$

$$b = 88 \left( \frac{k}{D} \right)^{0,44}$$

$$c = 1,62 \left( \frac{k}{D} \right)^{0,134}$$

donde

Re es el número de Reynolds

k es la rugosidad hidráulica del material.

Se adoptó una rugosidad  $k = 0,01$  mm recomendada por el fabricante de conductos de PRFV.

Se adoptaron finalmente las pérdidas calculadas según la expresión de Darcy – Weisbach, cuyos valores fueron algo superiores a las de Hazen y Williams. Los resultados pueden verse en las Planillas de cálculo hidráulico N° 1 y 2, así como la Planilla de cálculos complementarios que integran el ANEXO 1.

### **II.2.3.b. Transitorios hidráulicos**

Los transitorios hidráulicos pueden producirse por diferentes causas y también ser provocados de múltiples maneras. Entre las principales causas se destacan tanto por su frecuencia de ocurrencia, como por la magnitud del transitorio hidráulico producido, principalmente dos:

- Maniobras y cambios de posición de válvulas.
- Variaciones en el punto de funcionamiento.

Además de las perturbaciones producidas por los cambios de operación de los elementos anteriores en situaciones previstas y durante maniobras programadas o realizadas por los operadores del sistema hidráulico voluntariamente, deben tenerse en cuenta obligadamente todos aquellos acontecimientos imprevistos que puedan desencadenar directa o indirectamente un fenómeno transitorio, igual o más peligroso que los anteriormente citados.

El análisis de todos estos regímenes no estacionarios es absolutamente necesario para garantizar un correcto funcionamiento a corto y largo plazo de todo sistema hidráulico, teniendo un interés preventivo, para evitar la ocurrencia de accidentes más o menos importantes, pero siempre indeseados.

Los acontecimientos imprevistos se clasifican en dos grupos:

- Controlables por los operadores.

- Externos o incontrolados.

En ambos casos, el proyectista tiene la responsabilidad de prever adecuadamente la posible ocurrencia de los mismos, y diseñar las protecciones idóneas del sistema para que su respuesta se encuentre dentro de los límites técnicos de seguridad.

El análisis de transitorios (Golpe de ariete) se realizó mediante un programa que, utilizando el método de las características, resuelve numéricamente las ecuaciones de Saint Venant.

El cálculo de los transitorios consistió en la resolución del correspondiente sistema de ecuaciones, con las condiciones de contorno respectivas. Para lo cual es necesario caracterizar los elementos activos (válvulas, turbinas, sistemas de protección, etc.), sobre todo su comportamiento dinámico. Estos cálculos permiten realizar la elección más conveniente de los elementos activos y minimizar el costo del conjunto.

El caso más crítico de golpe de ariete en un sistema de gravedad como el diseñado, con válvulas accionadas por motores eléctricos o manualmente, se verifica generalmente durante la operación, por lo que se verificó la necesidad o no de instalación de algún tipo de protección o si es suficiente con controlar el tiempo de cierre de la válvula de operación.

La conducción se analizó con una válvula de operación y cierre ubicada en la Planta 1, modificando los tiempos de cierre de la válvula hasta lograr que, durante el transitorio correspondiente no se sobrepasen las presiones máximas predefinidas ni se produzcan presiones negativas.

Se modeló el acueducto con diámetro de conducto  $D = 900$  mm hasta progresiva 4177,3 y  $D = 800$  mm desde la progresiva anterior hasta la progresiva 9.379,6 final de la conducción, considerando que el material de la conducción es PRFV, concluyéndose que el tiempo mínimo de cierre aconsejable es  $T = 150$  segundos, con el cual no es necesario incluir ninguna protección especial, evitándose la presiones negativas en los puntos críticos y que las sobre presiones no superen el 40 % de la presión nominal de diseño en el extremo aguas abajo del conducto, cuya

clase se selecciona sobre la base de las presiones de régimen en el mismo.

Para cada situación modelada se adjuntan los siguientes elementos:

**Datos de la instalación**, donde se detallan las características de cada tramo en que se a dividido la conducción.

**Condiciones de contorno**, donde se detallan las características de los elementos instalados en cada nodo.

**Régimen permanente**, donde se dan las condiciones de funcionamiento en régimen del sistema modelado.

**Presiones máximas y mínimas en puntos del perfil**, se listan los puntos con que se representó el perfil de la conducción y las presiones máximas y mínimas encontradas durante el transitorio modelado.

**Envolvente de alturas piezométricas**, se grafican las presiones máximas y mínimas, superpuestas a el perfil de la conducción.

Las condiciones de borde o contorno de la tubería consideradas son las siguientes:

Extremo aguas arriba:

**Ha** = Nivel de agua en la toma.

Uniones de tramos, conexión directa entre tramos.

**Conex.**, se consideró la unión de los tramos sin la intercalación de ningún elemento.

Extremo aguas abajo:

**Ha** = Nivel de agua entre el intradós del conducto y el nivel de agua en la cámara de entrada a la planta potabilizadora, en metros.

**Tiv** = Instante en que se inicia el cierre de la válvula.

**Tmv** = Instante intermedio de operación de la válvula.

**Tfv** = Instante final de operación de la válvula.

**Ai%** = Grado inicial de apertura de la válvula.

**Am%** = Grado intermedio de apertura de la válvula.

**Af%** = Grado final de apertura de la válvula.

**Tipo** = Tipo de válvula ( 1 = Mariposa ).

**Dv** = Diámetro de la válvula en mm.

Se adjuntan la salida correspondiente al tiempo límite mínimo de cierre modelado, denominada QMP1a, cuyos resultados se pueden leer siguiendo la nomenclatura indicada mas arriba. Ver ANEXO 2.

De la comparación de las planillas de cálculos hidráulicos de régimen y la de transitorios hidráulicos, teniendo en cuenta que los conductos estándar admiten según normas (AWWA y ASTM) presiones transitorias de hasta 1,4 veces la presión normal de diseño, resultan las clases de conductos adoptadas para cada tramo, los que están indicados en las planillas de cálculos hidráulicos de régimen. Ver ANEXO 1.

#### **II.1.4. CÁLCULOS ESTRUCTURALES**

El cálculo estructural del conducto se realizó siguiendo el manual AWWA M-45, verificándose el conducto DN900 mm, PN10 bar, SN 2500 N/m<sup>2</sup> y DN800 mm, PN10 bar, SN 2500 N/m<sup>2</sup>, que corresponde a la condición más crítica del acueducto.

En el ANEXO 3 se adjuntan las planillas con los cálculos estructurales del conducto y de los anclajes de la tubería.

Los anclajes se tipificaron por ángulo y presión del acueducto, seleccionándose en cada caso el ángulo y presión inmediatamente superior para su instalación en el vértice correspondiente.

## **ANEXO 1: CÁLCULO HIDRÁULICO DEL ACUEDUCTO**

## ANEXO 2: TRANSITORIOS HIDRÁULICOS

## **ANEXO 3: CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL ACUEDUCTO**

## **ANEXO 4: ESTUDIO GEOTÉCNICO**

## **ANEXO 5: CÓMPUTO Y PRESUPUESTO**