

Efectos de la presurización de los túneles de la conducción San Juan en el proyecto río Ranchería

Effects of tunnel pressurization in the San Juan conduit at the Ranchería river project

JUAN CAMILO TORRES ZAPATA - GERMÁN MONSALVE SÁENZ

1. Magíster en Ingeniería Civil.

2. Ingeniero civil de la Universidad de los Andes. Magíster en Ingeniería Hidráulica de la Universidad de Delft (Holanda).

juan.torres-z@mail.escuelaing.edu.co - german.monsalve@escuelaing.edu.co

Recibido: 18/08/2017 Aceptado: 09/09/2017

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista

Resumen

En el proyecto río Ranchería, ubicado en el departamento de La Guajira, se evidenció que en la conducción San Juan (de 18,11 km) existen problemas de presurización de túneles que están diseñados para trabajar como canales. La presurización de estas estructuras puede ocasionar problemas de estabilidad de las paredes y techos, haciendo inoperante el sistema de transporte de agua de futuros distritos de riego y acueductos. En este artículo se presentan las características técnicas del problema y alternativas de solución para este tipo de conducciones.

Palabras claves: conducción, estabilidad, flujo libre, La Guajira, presurización, Ranchería, túnel.

Abstract

The Ranchería river project, located in La Guajira department, evidences that in the San Cesar conduit (18.11 km) there are pressurization problems in tunnels that are designed to work as canals. Pressurization in these structures may cause stability problems in walls and ceilings, rendering the water transport systems for future irrigation and aqueduct districts useless.

This article shows the technical characteristics of the problem and provides alternative solutions for these types of conduits.

Keywords: conduit, stability, free flow, La Guajira, pressurization, Ranchería, tunnel.

INTRODUCCIÓN

Debido al gran problema de abastecimiento de agua que tiene el departamento de La Guajira, se construyó en la cuenca del río Ranchería un embalse con el fin de optimizar el aprovechamiento del recurso hídrico en propósitos de acueductos, riego y generación eléctrica. Esta obra contempló la construcción de una conducción hidráulica cuyo sistema tiene tramos a presión y otros que deben trabajar a flujo libre en túneles.

Durante la operación del proyecto, los túneles construidos trabajarán muy posiblemente como un sistema presurizado, motivo por el cual es necesario conocer en detalle el comportamiento en este tipo de escenarios.

En el presente artículo se expone el análisis de la conducción con la condición planteada en el diseño y la condición presente durante la operación. Igualmente, se evidencian los posibles problemas y se hacen propuestas de solución técnica hidráulica.

RESULTADOS

Problema propuesto

La obra construida de la conducción San Juan tiene la capacidad de transportar un caudal de 2,50 m³/s. Se contemplan 15,88 km en tubería de CCP (cilindro en acero con refuerzo de varilla y revestimientos en mortero de cemento) de 1300 mm de diámetro, y dos tramos de túnel que suman una longitud de 2,23 km, los cuales tienen una sección transversal en herradura

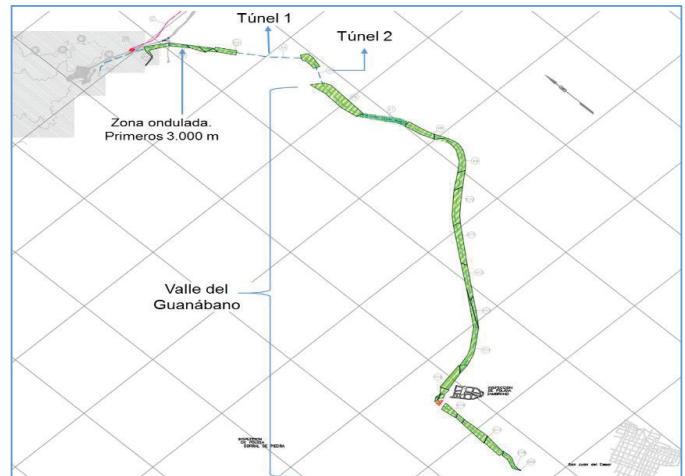


Figura 2. Planta del trazado de conducción San Juan del Cesar.

de paredes verticales y solera plana, de 3,0 m de ancho y 1,50 m de radio en su clave.

Antes de la construcción y operación de los distritos de riego, y como parte de procedimientos propios del mantenimiento de las obras, se realizó en el año 2012 una prueba de carga de la conducción San Juan, que proporcionó como resultado la presurización de los dos túneles que se encuentran en el trazado.

Según el diseño, ambos túneles deberían trabajar a flujo libre, dado que no tienen el revestimiento o protección necesaria para estar presurizados, escenario que puede ocasionar un colapso súbito de las paredes o techo. Adicionalmente, en algunos documentos se menciona que la roca está diaclasada y el revestimiento

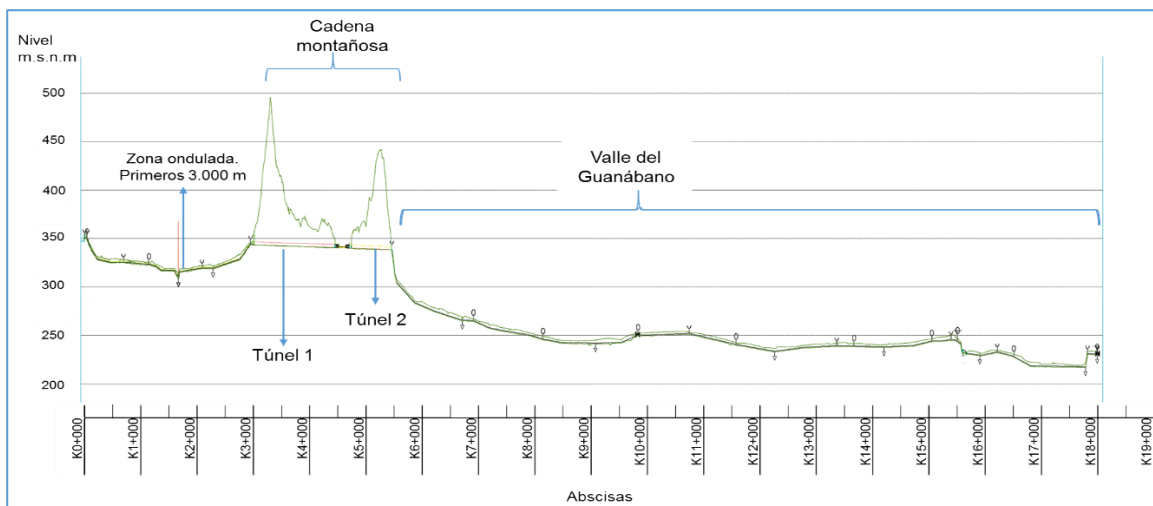


Figura 1. Perfil descriptivo de la conducción San Juan.

de concreto lanzado no aporta mayor resistencia a los esfuerzos y arrastre del flujo de agua.

Una vez evidenciado el problema de la presurización total del sistema (tubería y túneles), se modelaron en programas de simulación hidráulica (como Epanet y HEC-RAS) las condiciones de diseño y la condición real presentada en las pruebas de carga, con el fin de comparar resultados y analizar alternativas de solución. En las modelaciones se encontró que los túneles había presiones desde 0 hasta casi 6,0 mca y esta situación prolongada ocasionaría problemas de estabilidad en la roca.

Solución propuesta

Como resultado del análisis para la solución del problema, se presentaron tres opciones:

1. Recubrimiento de los túneles en concreto.
2. Instalación de tubería.

3. Construcción de vertederos de excesos en portales de entrada y salida de cada túnel.

Teniendo en cuenta las alternativas de solución propuestas, a continuación se analiza cada una de ellas.

Alternativa 1. Recubrimiento de los túneles en concreto

Actualmente, los túneles presentan una sección en herradura; tienen la solera y parte de los hastiales construidos en concreto hidráulico de 4000 psi, elementos que son el 56,0 % del total del perímetro del túnel. La bóveda o parte superior del túnel, que constituye el 44,0 % del perímetro del túnel, se encuentra construida en concreto neumático de poca resistencia, dado que su función sólo es evitar la caída de pequeños fragmentos de roca.

La solución planteada consiste en hacer un refuerzo estructural de los túneles mediante la colocación de concreto hidráulico de 4000 psi en las partes que se

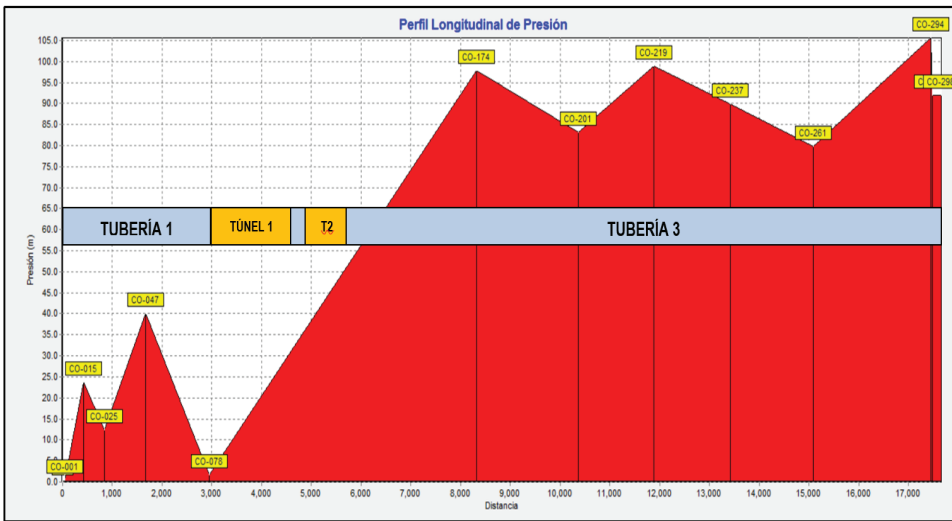
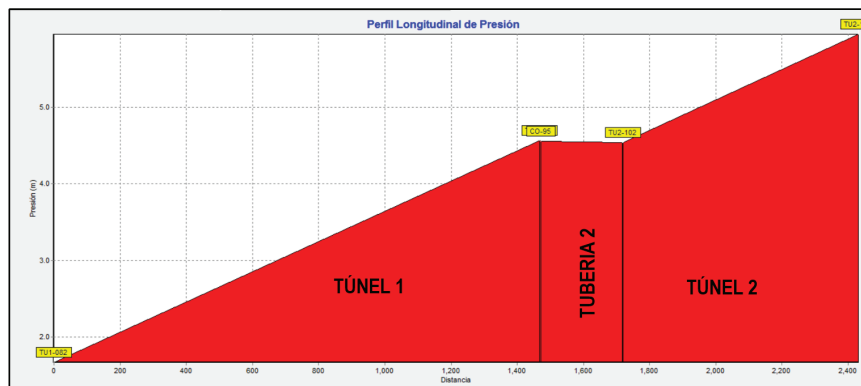


Figura 3. Gráfico de presiones de la conducción San Juan, con modelo de las pruebas realizadas en el año 2012.

Figura 4. Análisis de presurización de túneles, presiones variables desde 0 hasta 6 mca.



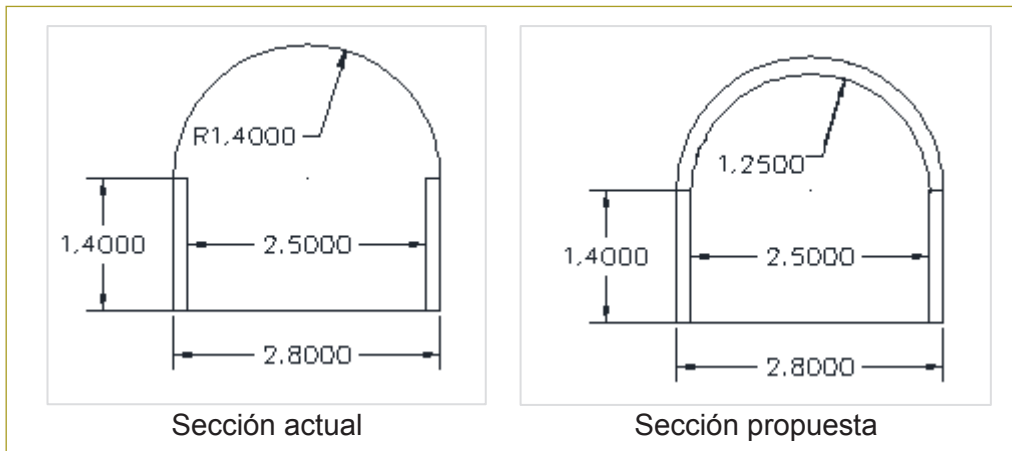


Figura 5. Alternativa de recubrimiento de sección de túneles.

encuentra el concreto neumático. El espesor del nuevo recubrimiento debería ser como mínimo de 15 cm, que es el mismo que se encuentra en la parte inferior del túnel. En la siguiente figura se presentan la sección actual y la propuesta en esta alternativa.

Al modelar el sistema en el programa Epanet, se evidencia que los túneles de la conducción no tienen problemas de presiones, dado que presentan presiones que varían de 1,67 a 5,97 mca que son superados fácilmente con la resistencia del revestimiento.

Alternativa 2. Instalación de tubería

Para resolver el problema de estabilidad de los túneles de la conducción San Juan, se plantea instalar en cada túnel dos tramos de tubería que permitirán dar continuidad al sistema presurizado que se encuentra aguas arriba y

abajo de éstos, en tubería de CCP de 1,30 metros de diámetro.

Una vez reconocida la instalación de tubería como posible solución a los problemas, se procedió a hacer modelaciones en Epanet con los respectivos análisis, utilizando como base tubería en GRP (tubos de poliéster reforzados con fibra de vidrio) y tubería en CCP (cilindro en acero con refuerzo de varilla y revestimientos en mortero de cemento). Los diámetros de tubería considerados para el estudio son de 800 y 1300 mm, teniendo en cuenta la facilidad de instalación y los procesos constructivos.

- Modelo 1. Tubería GRP de 800 mm y rugosidad de 0,009

En el modelo se presentan presiones negativas desde el inicio de los túneles, debido a la disminución de sec-

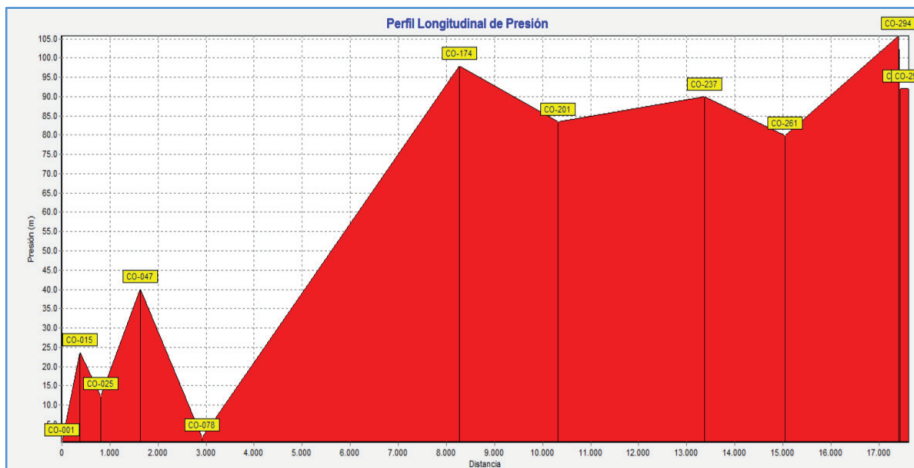


Figura 6. Perfil longitudinal de presiones de alternativa 1. Recubrimiento de túneles.

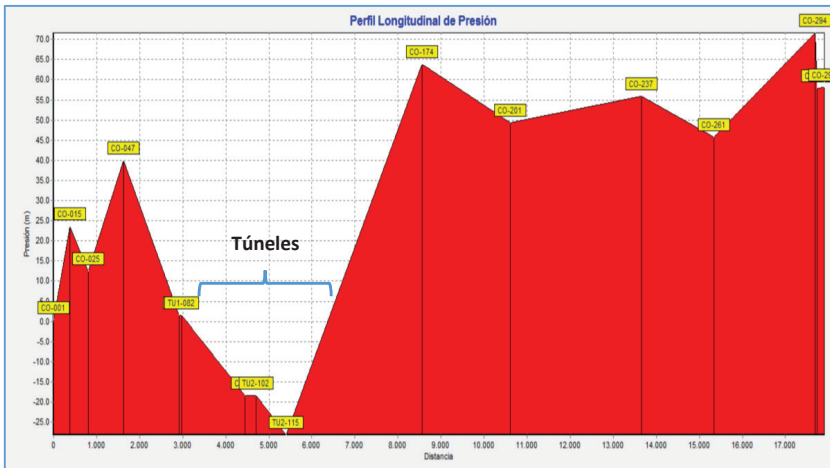
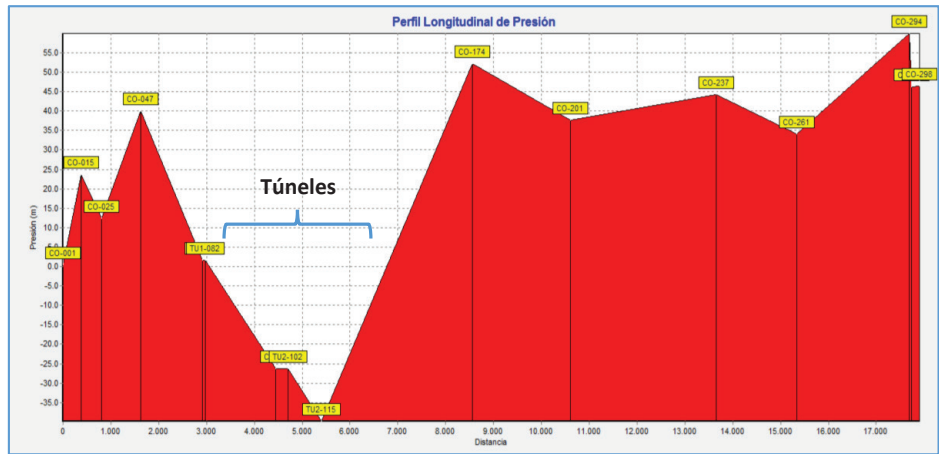


Figura 7. Perfil longitudinal de presiones de alternativa 2. Tubería GRP de 800 mm.

Figura 8. Perfil longitudinal de presiones de alternativa 2. Tubería CCP de 800 mm.



ción, que pasa de 1300 a 800 mm. Esta situación genera aumento de velocidad y disminución de presión, lo que indica que se presentan problemas de cavitación y se necesitaría mayor energía en la conducción para hacer funcionar el sistema correctamente.

- Modelo 2. Tubería CCP de 800 mm y rugosidad de 0,012

En el modelo se presentan presiones negativas desde el inicio de los túneles debido a la disminución de sección, que pasa de 1300 a 800 mm. Esta situación genera aumento de velocidad y disminución de presión, lo que indica que se presentan problemas de cavitación y se necesitaría mayor energía en la conducción para hacer funcionar el sistema correctamente. Las presiones negativas del modelo son superiores al modelo 1, debido a que el material de la tubería de CCP es más rugoso que el GRP.

- Modelo 3. Tubería GRP de 1300 mm y rugosidad de 0,009

El modelo no presenta presiones negativas y el valor mínimo es de 1,67 m en el nodo a la entrada del primer túnel. En términos generales, el sistema no presenta problemas y la tubería trabaja de manera adecuada.

- Modelo 4. Tubería CCP de 1300 mm y rugosidad de 0,012

El modelo no presenta presiones negativas y el valor mínimo es de 1,67 m en el nodo a la entrada del primer túnel. En términos generales, el sistema no presenta problemas y la tubería trabaja de manera adecuada.

Alternativa 3. Construcción de vertederos de excesos en portales de salida de cada túnel

Con el fin de solucionar el problema de estabilidad de los túneles de la conducción San Juan, se plantea dar una

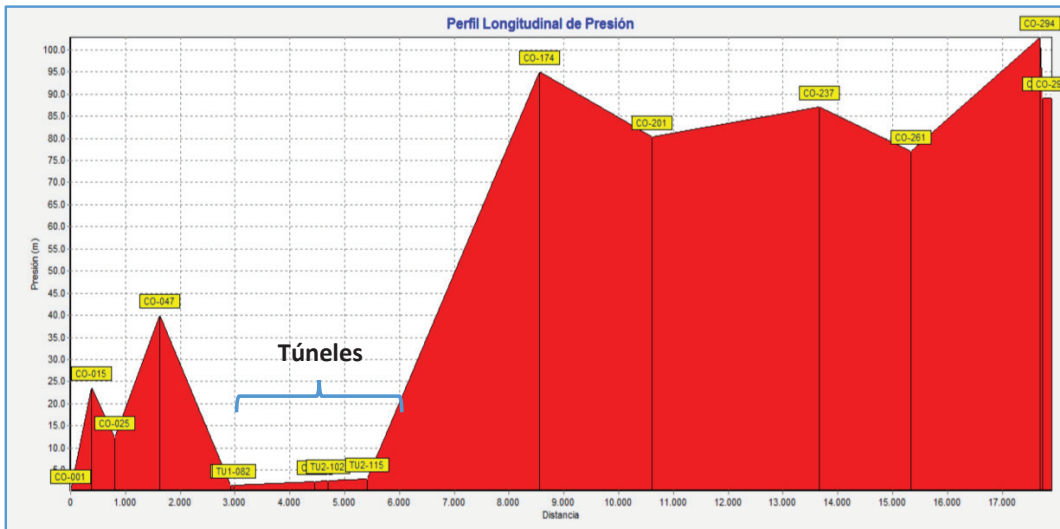


Figura 9. Perfil longitudinal de presiones de alternativa 2. Tubería GRP de 1300 mm.

apertura a los portales de entrada y salida de cada túnel, que permita el rebose de agua y evite la presurización del sistema en estos tramos. La altura de esta apertura en cada uno de los portales es de aproximadamente 30 cm, y en cada punto se encuentra instalada una malla contra murciélagos para evitar la entrada de estos animales, dado que las condiciones del túnel son aptas para su hábitat.

Para la construcción de un vertedero de excesos en los portales de los túneles es necesario el retiro de la malla, que desde el punto de vista técnico de ingeniería sería la mejor alternativa en cuanto a que la intervención realizada a los túneles es mínima en comparación con las otras obras propuestas, pero al dejar los túneles

expuestos al ingreso de animales u otros agentes contaminantes del agua no se considera viable. Para esta solución se deben analizar componentes ambientales y de calidad de agua para cultivos que se encuentran por fuera del alcance del presente artículo.

CONCLUSIONES

- El recubrimiento de los túneles relacionado en la alternativa 1 cumple con las condiciones hidráulicas de los diseños, pero para este tipo de intervención se pueden generar problemas de estabilidad de los túneles y se requiere un análisis detallado del macizo

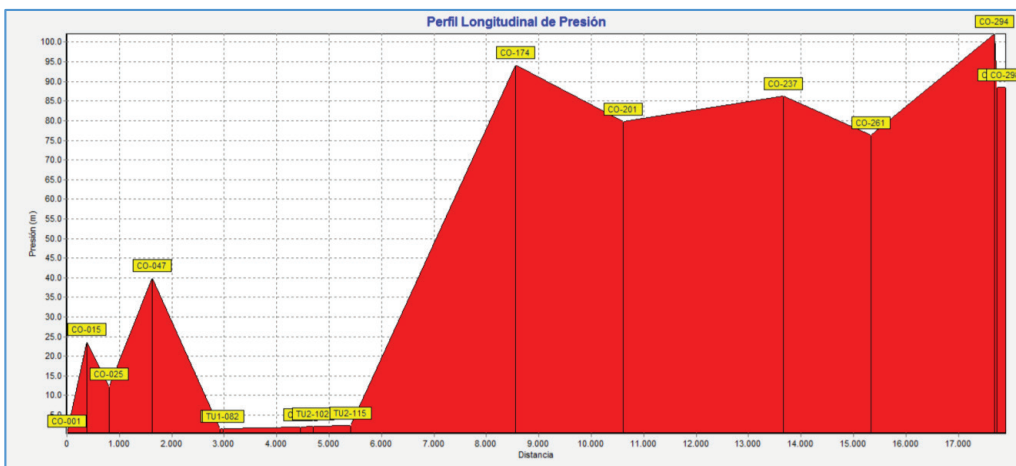


Figura 10. Perfil longitudinal de presiones de alternativa 2. Tubería CCP de 1300 mm.

rocoso. La roca presente en la zona se encuentra diaclasada y para aplicar esta alternativa se requiere un estudio geológico.

- Con respecto a la instalación de tubería, se consideraron cuatro tipos tubos de diámetros y materiales diferentes, que son los que se utilizan actualmente en estas obras. En Epanet se modeló cada uno, y se llegó a las siguientes conclusiones:
 - Las tuberías con diámetros de 800 mm, sin importar el material, presentan presiones negativas que ocasionarían problemas de cavitación en el sistema, y velocidad mayor de 2,0 m/s, que son superiores a los requerimientos de diseño. Una vez analizadas estas opciones, no se considera viable técnicamente.
 - Las tuberías de 1300 mm de GRP y CCP se comportan de manera similar en el modelo y cumplen con las condiciones del diseño.
- Para la construcción de un vertedero de excesos en los portales de entrada, es necesario retirar la malla antimurciélagos, lo cual dejaría los túneles expues-

tos al ingreso de animales. Ambientalmente, esta alternativa no es viable, dado que se compromete la calidad del agua.

- Se deben analizar los costos de instalación de las tuberías de GRP y CCP de 1300 mm, debido a que pueden ser un factor determinante al momento de tomar la decisión de construcción. El presente artículo tiene un propósito académico, por lo que sólo incluye el análisis técnico hidráulico y no analiza el valor de las obras.

Como resultado de esto, se concluye que la instalación de tubería de 1300 mm en el interior de los túneles garantiza la continuidad del sistema presurizado y evita que se puedan presentar problemas de estabilidad en las estructuras. Teniendo en cuenta que la construcción del sistema de la conducción San Juan se encuentra en tubería tipo CCP 1300 mm y que ésta no presenta mayor diferencia con la tubería de otro material, es preciso concluir que la instalación de este elemento es la mejor solución para el problema planteado.

