

Maestría en Ingeniería Civil

**EFFECTOS DE LA PRESURIZACIÓN DE LOS TÚNELES DE LA
CONDUCCIÓN SAN JUAN EN EL PROYECTO RÍO RANCHERÍA.**

Ing. Juan Camilo Torres Zapata

Bogotá, D.C., 29 de enero de 2016



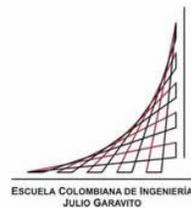
EFFECTOS DE LA PRESURIZACIÓN DE LOS TÚNELES DE LA CONDUCCIÓN SAN JUAN EN EL PROYECTO RÍO RANCHERÍA

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en Recursos Hídricos y Medio Ambiente**

Ing. German Monsalve Saenz

Director

Bogotá, D.C., 29 de enero de 2016



La tesis de maestría titulada “EFECTOS DE LA PRESURIZACIÓN DE LOS TÚNELES DE LA CONDUCCIÓN SAN JUAN EN EL PROYECTO RÍO RANCHERÍA”, presentada por el ing. Juan Camilo Torres Zapata, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hídricos y Medio Ambiente.

Director de la tesis

Ing. German Monsalve Saenz

Jurado

Ing. German Ricardo Santos Granados

Jurado

Ing. Héctor Alfonso Rodríguez Díaz

Bogotá, D.C., 29 de enero de 2016

Dedicatoria

A mi esposa Carolina Galvis, por estar siempre a mi lado, apoyarme en todos mis proyectos y ser el motor de mi vida. A mi madre y mis hermanos porque han estado presente en todo momento, y a mi padre porque es el faro de mi vida desde el cielo y sé que también me estaría apoyando en este logro.

Agradecimientos

A German Monsalve, Director de este trabajo de grado, por haberme guiado con su gran conocimiento y experiencia profesional.

A German Santos, Director del programa de Maestría, por haberme aconsejado con las dificultades presentadas en el desarrollo del trabajo.

A todos los profesores y compañeros, que aportaron conocimientos, experiencia y aprendizaje en todos los sentidos de mi vida.

A la Escuela Colombiana de Ingeniera, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios.

Resumen

En el proyecto Río Ranchería ubicado en el departamento de La Guajira, se evidenció que en la conducción San Cesar 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 futuros distritos de riego y acueductos.

Como solución a esta problemática, se plantea el recubrimiento en concreto de los túneles, la instalación de diferentes tuberías y la construcción de vertederos de excesos en portales de salida de cada túnel. Para cada una de las alternativas propuestas, se realiza un análisis hidráulico de comportamiento con la ayuda de programas de simulación.

En conclusión, se identifica la alternativa que mejor se comporta bajo las condiciones hídricas de trabajo del sistema y se recomienda proceder con su ejecución.

Índice General

	Pág.
Introducción	14
1. Diseño Conducción San Juan	16
1.1. Generalidades	16
1.1.1. antecedentes	16
1.1.2. análisis de caudales	16
1.1.3. planteamiento del corredor	16
1.1.4. bases de cálculo	17
1.1.5. descripción de alternativas	18
1.2. Memorias de Cálculo	21
1.2.1. topografía	21
1.2.2. estructuras de toma	22
1.2.3. alineamiento horizontal de las conducciones	22
1.2.4. alineamiento vertical de las conducciones	23
1.2.5. disposición de accesorios	25
1.2.6. caudal de diseño	26
1.2.7. diseño hidráulico de las conducciones	26
2. Construcción Conducción San Juan	38
2.1. Caracterización Geotécnica de la Zona	38
2.2. Topografía	39
2.3. Excavaciones	39
2.4. Colocación de Material Tipo C – 2 para Encamado de Tubería	41
2.5. Instalación de la Tubería y Accesorios CCP	41
2.6. Colocación de Material de Relleno Seleccionado	42
2.7. Colocación de Material de Relleno Proveniente de la Excavación	42
2.8. Construcción de Cajas y/o Cámaras para Accesorios	43
2.9. Construcción de Caissons para Viaducto	44
2.10. Prueba Hidrostática en Campo	44
2.11. Túneles	45
2.12. Estructuras Anexas a los Túneles	52
3. Pruebas Año 2012	55
3.1. Preparación de Equipos	55
3.2. Presurización Conducción San Juan	61
3.3. Actividades Posteriores a Presurización Conducción San Juan	66
4. Análisis Teórico de las Pruebas	68
4.1. Resultados Obtenidos en las Pruebas	68
4.2. Simulación de las Pruebas	70
5. Alternativas de Soluciones	76
5.1. Alternativa 1 – Recubrimiento de los Túneles en Concreto	76

5.2.	Alternativa 2 – Instalación de Tubería	79
5.2.1.	modelo 1 – tubería grp de 800 mm, rugosidad de 0.009	80
5.2.2.	modelo 2 – tubería ccp de 800 mm rugosidad de 0.012.....	83
5.2.3.	modelo 3 – tubería grp de 1.300 mm rugosidad de 0.009	87
5.2.4.	modelo 4 – tubería ccp de 1.300 mm rugosidad de 0.012.....	89
5.3.	Alternativa 3 – Construcción de Vertederos de Excesos en Portales de Salida de Cada Túnel.	92
6.	Conclusiones	94
7.	Bibliografía	96
8.	Anexos.....	97
	ANEXO 1	98
	ANEXO 2	99
	ANEXO 3.....	100

Índice de figuras

	Pág.
FIGURA 1. SECCIÓN TÍPICA DE CONDUCCIÓN SAN JUAN	17
FIGURA 2. PERFIL DESCRIPTIVO DE CONDUCCIÓN SAN JUAN	19
FIGURA 3. PLANTA DEL TRAZADO DE CONDUCCIÓN SAN JUAN DEL CESAR	19
FIGURA 4. PLANTA SATELITAL CONDUCCIÓN SAN JUAN	20
FIGURA 5. SECCIÓN DE TÚNELES	30
FIGURA 6. SECCIÓN TÚNEL PARA Yc.....	33
FIGURA 7. SECCIÓN TÚNEL COEFICIENTES DE RUGOSIDAD	34
FIGURA 8. SECCIÓN TÚNEL PARA Yn.....	35
FIGURA 9. PLANTA Y PERFIL, CONDICIÓN AGUAS ABAJO TÚNELES	36
FIGURA 10 SECCIÓN TÍPICA DE SOSTENIMIENTO	49
FIGURA 11 SECCIÓN TÍPICA DEL REVESTIMIENTO.....	51
FIGURA 12 PLANTA Y PERFIL DE CÁMARA DE TRANSICIÓN DE PORTAL DE ENTRADA TÚNELES.....	52
FIGURA 13 TANQUE AMORTIGUADOR DE PRESIÓN.....	53
FIGURA 14. PORTAL DE SALIDA TÚNEL 2.....	68
FIGURA 15. PLANTA DE LOSAS AFECTADAS CON LA PRESURIZACIÓN DE TÚNEL 2	69
FIGURA 16. PERFIL DE LOSAS AFECTADAS CON LA PRESURIZACIÓN DEL TÚNEL 2.....	69
FIGURA 17. SECCIÓN DE TÚNELES.....	71
FIGURA 18. GRÁFICO DE PRESIONES DE LA CONDUCCIÓN SAN JUAN	72
FIGURA 19. PRESIONES DESDE EL INICIO DE LA CONDUCCIÓN HASTA EL PORTAL DE SALIDA TÚNEL 2.	74
FIGURA 20. ANÁLISIS DE PRESURIZACIÓN EN LOS TÚNELES	74
FIGURA 21. ALTERNATIVA DE RECUBRIMIENTO DE SECCIÓN DE TÚNELES.....	77
FIGURA 22 PLANTA DE PRESIONES DE ALTERNATIVA 1. RECUBRIMIENTO DE TÚNELES.....	78
FIGURA 23 PERFIL LONGITUDINAL DE PRESIONES DE ALTERNATIVA 1. RECUBRIMIENTO DE TÚNELES	79
FIGURA 24 PLANTA DE PRESIONES DE ALTERNATIVA 2. TUBERÍA GRP DE 800 MM	81
FIGURA 25 PERFIL LONGITUDINAL DE PRESIONES DE ALTERNATIVA 2. TUBERÍA GRP DE 800 MM.	82
FIGURA 26 PLANTA DE VELOCIDADES DE ALTERNATIVA 2. TUBERÍA GRP DE 800 MM.....	82
FIGURA 27 PLANTA DE PRESIONES DE ALTERNATIVA 2. TUBERÍA CCP DE 800 MM	85
FIGURA 28 PERFIL LONGITUDINAL DE PRESIONES DE ALTERNATIVA 2. TUBERÍA CCP DE 800 MM.	85
FIGURA 29 PLANTA DE VELOCIDADES DE ALTERNATIVA 2. TUBERÍA CCP DE 800 MM.....	86
FIGURA 30 PLANTA DE PRESIONES DE ALTERNATIVA 2. TUBERÍA GRP DE 1300 MM	88
FIGURA 31 PERFIL LONGITUDINAL DE PRESIONES DE ALTERNATIVA 2. TUBERÍA GRP DE 1300 MM.	88
FIGURA 32 PLANTA DE VELOCIDADES DE ALTERNATIVA 2. TUBERÍA GRP DE 1300 MM.....	89
FIGURA 33 PLANTA DE PRESIONES DE ALTERNATIVA 2. TUBERÍA CCP DE 1300 MM	90
FIGURA 34 PERFIL LONGITUDINAL DE PRESIONES DE ALTERNATIVA 2. TUBERÍA CCP DE 1300 MM.	91

FIGURA 35 PLANTA DE VELOCIDADES DE ALTERNATIVA 2. TUBERÍA CCP DE 1300 MM.....	91
FIGURA 36 PERFIL Y SECCIÓN TRASVERSAL DE PORTALES DE ENTRADA Y SALIDA DE TÚNELES.....	92
FIGURA 37 PORTALES ENTRADA Y SALIDA, MALLA CONTRA MURCIÉLAGOS.....	92

Índice de tablas

	Pág.
TABLA NO. 1 CALCULO HIDRÁULICO DE TÚNEL 1	31
TABLA NO. 2 CALCULO HIDRÁULICO DE TÚNEL 2	32
TABLA NO. 3 RESUMEN DE PRUEBA HIDROSTÁTICA.....	45
TABLA NO. 4 CÓDIGO DE NODOS	71
TABLA NO. 5 RESUMEN DE PRESIONES	73
TABLA NO. 6 RESULTADOS DE MODELACIÓN TUÉNELES	75
TABLA NO. 7 RESUMEN DE MODELACIÓN ALTERNATIVA 1. RECUBRIMIENTO DE TÚNELES.....	78
TABLA NO. 8 RESUMEN DE MODELACIÓN ALTERNATIVA 2. TUBERÍA GRP DE 800 MM	81
TABLA NO. 9 RESUMEN DE VELOCIDAD EN LA CONDUCCIÓN. ALTERNATIVA 2 - TUBERÍA GRP DE 800 MM. 83	
TABLA NO. 10 RESUMEN DE MODELACIÓN ALTERNATIVA 2. TUBERÍA CCP DE 800 MM.....	84
TABLA NO. 11 RESUMEN DE VELOCIDAD EN LA CONDUCCIÓN. ALTERNATIVA 2 - TUBERÍA CCP DE 800 MM86	
TABLA NO. 12 RESUMEN DE MODELACIÓN ALTERNATIVA 2. TUBERÍA GRP DE 1300 MM	87
TABLA NO. 13 RESUMEN DE MODELACIÓN ALTERNATIVA 2. TUBERÍA CCP DE 1300 MM.....	90

Índice de fotos

	Pág.
FOTO NO. 1 EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO, PARA INSTALACIÓN DE TUBERÍA.....	40
FOTO NO. 2 INSTALACIÓN DE TUBERÍA	42
FOTO NO. 3 COLOCACIÓN DE RELLENO.....	43
FOTO NO. 4 CONSTRUCCIÓN DE PASO ELEVADO	44
FOTO NO. 5 PORTAL ENTRADA TÚNEL 2, ANTES DE EXCAVACIÓN.....	46
FOTO NO. 6 PORTAL ENTRADA TÚNEL 2, DESPUÉS DE EXCAVACIÓN.....	47
FOTO NO. 7 INSTALACIÓN DE EXPLOSIVO PARA EXCAVACIÓN.....	48
FOTO NO. 8 SECCIÓN DE TÚNEL CONSTRUIDO.....	49
FOTO NO. 9 CONCRETO NEUMÁTICO, EN PAREDES DE TÚNELES.....	50
FOTO NO. 10 SECCIÓN TÍPICA DE LAS CAJAS DE TRANSICIONES	52
FOTO NO. 11 TANQUE AMORTIGUADOR DE LA CONDUCCIÓN SAN JUAN, ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN	54
FOTO NO. 12 VÁLVULA DE COMPUERTA Y CHEQUE DEL SISTEMA DE PURGA K9+129	55
FOTO NO. 13 DERIVACIÓN A ACUEDUCTO SAN JUAN DEL CESAR K15+600	56
FOTO NO. 14 VÁLVULA DE MARIPOSA K18+100	56
FOTO NO. 15 REPOSICIÓN EMPAQUE MANHOLE K13+750	57
FOTO NO. 16 EVACUACIÓN DE AGUA EN LA CÁMARA DE VÁLVULA DE MARIPOSA DE CIERRE K9+885	57
FOTO NO. 17 DESMONTE Y LIMPIEZA DE PARTES DE VÁLVULA DE VENTOSA K9+885	58
FOTO NO. 18 LIMPIEZA DE LODO Y CONSTRUCCIÓN DE MURO EN LA SALIDA PARA EL ACUEDUCTO DE SAN JUAN, EN LA CÁMARA DEL K15+600.....	58
FOTO NO. 19 DESMONTAJE Y LIMPIEZA PURGA K6+752	59
FOTO NO. 20 DESMONTAJE Y LIMPIEZA PURGA K9+890	59
FOTO NO. 21 REPOSICIÓN EMPAQUE EN VÁLVULA VENTOSA K18+100	60
FOTO NO. 22 DESMONTAJE Y LIMPIEZA PURGA K14+284	60
FOTO NO. 23. APERTURA VÁLVULA DE MARIPOSA.....	61
FOTO NO. 24 APERTURA VÁLVULA DE PASO ANULAR, TAQUE DE AMORTIGUACIÓN.....	61
FOTO NO. 25 LLENADO DE TANQUE DE AMORTIGUACIÓN.....	62
FOTO NO. 26 REVISIÓN DE VALVULA DE MARIPOSA, QUE SIRVE DE CIERRE EN LA MITAD DE LA CONDUCCION	62
FOTO NO. 27 INSPECCION DE ACCESORIOS DE LA CONDUCCION.....	63
FOTO NO. 28 REBOCE DE AGUA EN EL PORTAL DE SALIDA DEL TÚNEL 2	63
FOTO NO. 29 ACTIVIDADES DE DESOCUPAR LA CONDUCCIÓN.....	64
FOTO NO. 30 INSPECCIÓN EN PORTALES DE TÚNELES.....	64
FOTO NO. 31 EROSIÓN DE TERRENO POR PRESURIZACIÓN DE TÚNELES	65
FOTO NO. 32 DAÑOS EN TUBERÍA POR ARRASTRE DE MATERIAL	65

FOTO NO. 33 DAÑOS EN PORTAL DE SALIDA DEL TÚNEL 2	66
FOTO NO. 34 LEVANTAMIENTO DE TAPA EN CÁMARA DE TRANSICIÓN DEL PORTAL DE SALIDA DEL TÚNEL 2	67
FOTO NO. 35 CONSTRUCCIÓN DE LOSA DE CONCRETO SOBRE LAS TAPAS DE LA CONDUCCIÓN.....	67

Introducción

Con el fin de impulsar el desarrollo rural y económico de la región sur del departamento de La Guajira con la adecuación de tierras, el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural - INCODER a través del contrato No 140 de 2001 inicio la construcción del proyecto Rio Ranchería que comprende los distritos de riego de San Juan del Cesar (3.000 ha) y ranchería (15.536 ha), el suministro de agua a nueve (09) municipios y la generación eléctrica de 7 MW.

Debido al monto de la inversión el Gobierno Nacional tomó la decisión de proceder con la construcción total del proyecto en dos (02) fases, que se describen a continuación:

La primera fase del proyecto inició en el año 2001 y finalizó en 2010, y tenía como finalidad la elaboración de los diseños detallados de los distritos de riego y la construcción de la Presa “El Cercado”, las conducciones principales a cada uno de los distritos de riego y demás obras anexas. El embalse “El Cercado” se construyó con la capacidad de almacenamiento de 198 millones de metros cúbicos, del cual se desprenden la conducción Ranchería de 11 km de longitud y la conducción San Juan con 18 km. Cada una de estas conducciones suministrará de agua a los distritos de riego que llevan su nombre respectivamente.

Una vez terminada la construcción de la primera fase, el INCODER se encuentra buscando un modelo de financiación que permita la obtención de recursos para culminar las obras de la segunda fase que corresponden a la construcción de los propios distritos de riego Ranchería y San Juan, la conexión a los sistemas de acueducto de nueve municipios y la instalación de la micro central eléctrica para la generación eléctrica.

Como parte del ejercicio de administración y mantenimiento del embalse que actualmente realiza el INCODER antes de la construcción de la segunda fase, se ha evidenciado la necesidad de realizar pruebas a la infraestructura existente, para lo cual en la conducción San Juan, de 18 km de longitud, en el 2012 se realizó una prueba de carga que evidenció la presurización de dos túneles que se encuentran en el trazado, los cuales deberían trabajar según sus diseñadores a flujo libre. Debido a la concepción de los diseños, los

túneles construidos no permiten la presurización de los mismo, pues no tienen el revestimiento o protección necesaria para tal fin; situación que puede ocasionar un colapso súbito de las paredes y/o techo.

Una vez analizada esta situación el objeto del presente trabajo de grado es determinar las presiones de trabajo a las cuales pueden estar sometidos los túneles, aprovechando que a la fecha no están en operación y se puede prevenir con tiempo daños en las estructuras.

Para tal efecto en el presente documento se presenta en los primeros capítulos un análisis del diseño y la relación del proceso constructivo que permitirá comprender el desarrollo de las actividades de ejecución de las obras. Posteriormente se presenta un análisis de las pruebas realizadas en el año 2012 y el impacto que se tuvo sobre la estructura de los túneles.

Una vez analizados los efectos de la presurización de los túneles, se presenta un análisis teórico de las presiones a que pueden verse sometidas las estructuras si llegasen a estar presurizadas durante la etapa de operación del distrito de riego y acueductos, con la ayuda de programas de simulación como EPANET y HEC-RAS.

Al terminar la respectiva simulación de la presurización se solicitó al INCODER realizar una prueba de campo a fin de corroborar los datos teóricos con la situación real, pero el INCODER negó estas actividades debido principalmente al gran volumen de agua que demanda y que en la actualidad La Guajira atraviesa por un intenso fenómeno El Niño.

Terminado el análisis de variables que pueden afectar la estabilidad de los túneles, se procede en el capítulo final a realizar conclusiones y recomendaciones que garanticen la estabilidad de las obras. Se debe aclarar que la información presentada en este trabajo de grado solo es una guía que deber ser utilizada con fines académicos y que en ningún caso podrá usarse como elemento en conflictos contractuales entre el INCODER y el constructor de las obras, pues para esto se requieren estudios y ensayos más detallados que involucran otras temáticas de la ingeniera.

1. Diseño Conducción San Juan

1.1. Generalidades

1.1.1. antecedentes

Dentro de los diseños del proyecto Ranchería se planteó el diseño y construcción de las líneas de conducción a los distritos de riego de San Juan del Cesar y Ranchería, para transportar el caudal requerido desde la presa El Cercado. La conducción San Juan del Cesar se diseñó por medio de tuberías, que garantizaban el riego a presión a toda el área, utilizando elementos de riego como: aspersores, microaspersores y goteros para cumplir con el propósito de riego.

1.1.2. análisis de caudales

Se realizó el análisis de los caudales para los distritos basándose en las demandas decadales máximas de cada uno de los meses, con el fin de observar la variación del caudal en los diferentes meses del año.

1.1.3. planteamiento del corredor

Los parámetros que se utilizaron para la comparación de los corredores de las conducciones fueron:

- ✓ Topografía
- ✓ Longitud
- ✓ Presiones
- ✓ Estructuras requeridas
- ✓ Longitud de túneles
- ✓ Posibilidades de acceso para la instalación de las tuberías, su operación y mantenimiento.

1.1.4. bases de cálculo

Para el cálculo de las características hidráulicas de las tuberías, se empleó la ecuación de Darcy Weisbach; para hallar el factor de fricción, como método de verificación se utilizará la ecuación de Hazzen – Williams. Se utilizó esta fórmula por recomendación de los expertos, adoptando parámetros de cálculo como son la temperatura del agua 15 °C y rugosidad absoluta (ks) igual a 0.12 mm para tuberías en CCP (cilindro en acero con refuerzo de varilla y revestimientos en mortero de cemento).

Para el cálculo de pérdidas por accesorios, se tomó coeficientes de pérdida localizadas; que varían de 0.05 a 0.5, dependiendo de derivaciones, válvulas y deflexiones sobre los alineamientos (ver sección 1.2.7 *diseño hidráulico de las conducciones*).

Para la estimación de las cantidades de obra, entre ellas las excavaciones, se plantearon secciones típicas valederos únicamente para efectos comparativos; en el diseño final se ajustó según las condiciones topográficas y texturales. El estimativo presentado en este documento es un ejercicio para comparar las alternativas, con el fin de seleccionar la más indicada desde el punto de vista técnico y económico; una vez se defina el trazado definitivo, se realizarán sobre éste los estudios detallados de las características geológicas, geotécnicas y topográficas, que precisarán las condiciones definitivas de conducción. Los esquemas de las secciones tipo utilizadas fueron:

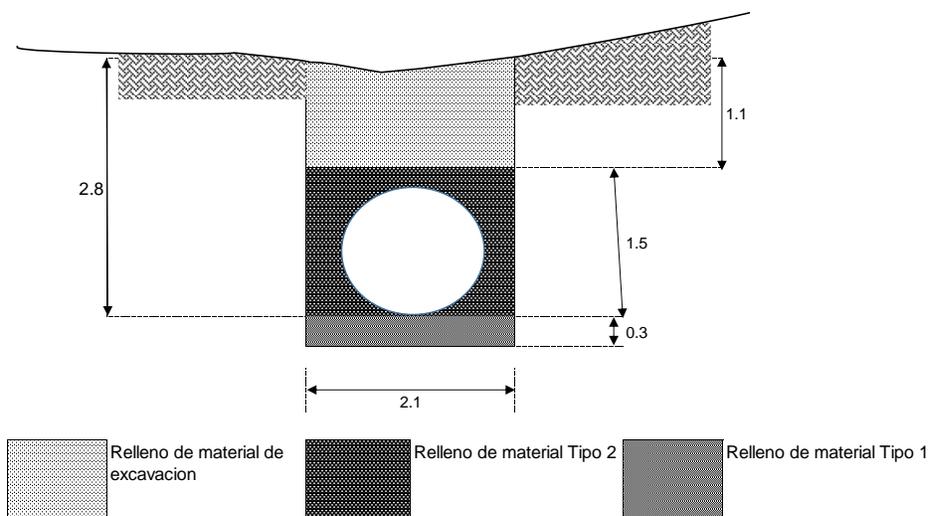


Figura 1. Sección típica de conducción San Juan

Todas las medidas en metros

Tipo 1: Cama en arena compactada.

Tipo 2: Relleno seleccionado.

La tubería será enterrada totalmente, de tal forma que el relleno tenga un espesor promedio de 1 m por encima de la clave.

1.1.5. descripción de alternativas

Se evaluaron cuatro (4) alternativas de conducción, con la misma profundidad, para que fueren comparables entre sí, de las cuales se escogió la alternativa No. 3, la cual se describe a continuación:

Alternativa No. 3

En los primeros 3.000 m luego del túnel de captación, su recorrido es por una zona ondulada de bajas pendientes, luego atraviesa una cadena montañosa, de pendientes fuertes que implica la construcción de dos (2) túneles, el primero para cruzar un cerro cuya cresta se encuentra a los 500 msnm y un segundo con cresta de 400 msnm. El túnel en sus dos tramos tendría en total una longitud de 2233 m. A continuación del segundo túnel, se desciende por la parte occidental del valle del Guanábano a media ladera hasta el corregimiento de Zambrano, a la altura de la cual se encuentra el cruce del río Cesar mediante una estructura especial. La longitud de esta conducción es de 18.1 km con diámetros de tubería 1.300 mm.

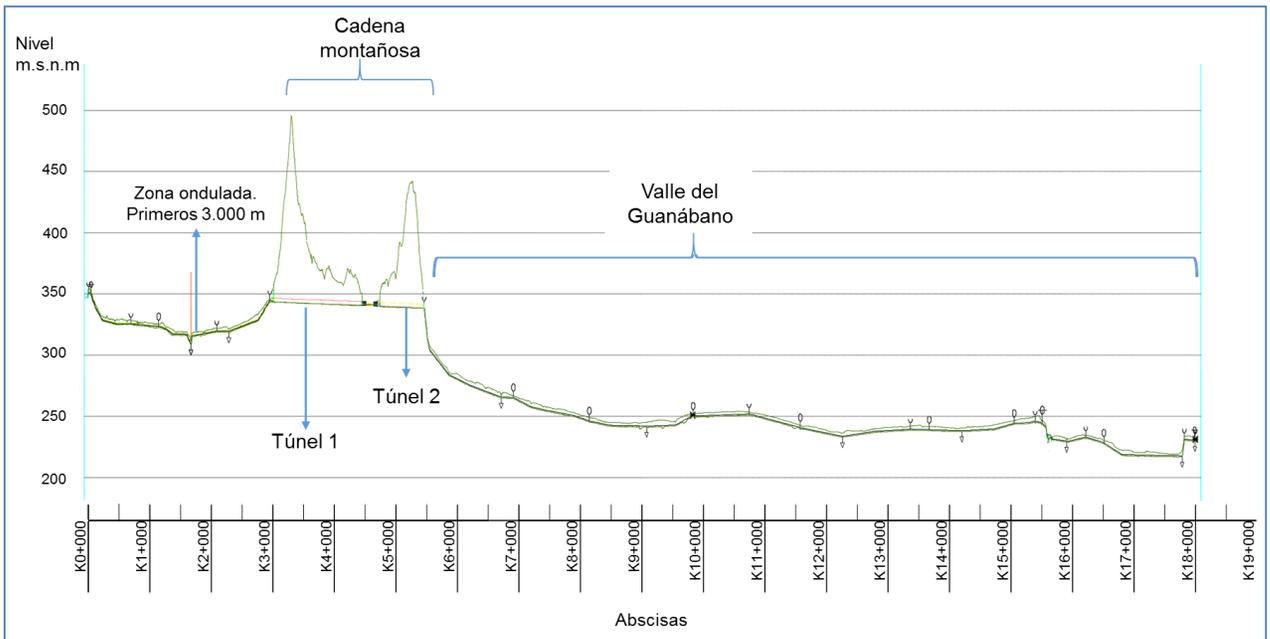


Figura 2. Perfil descriptivo de conducción San Juan

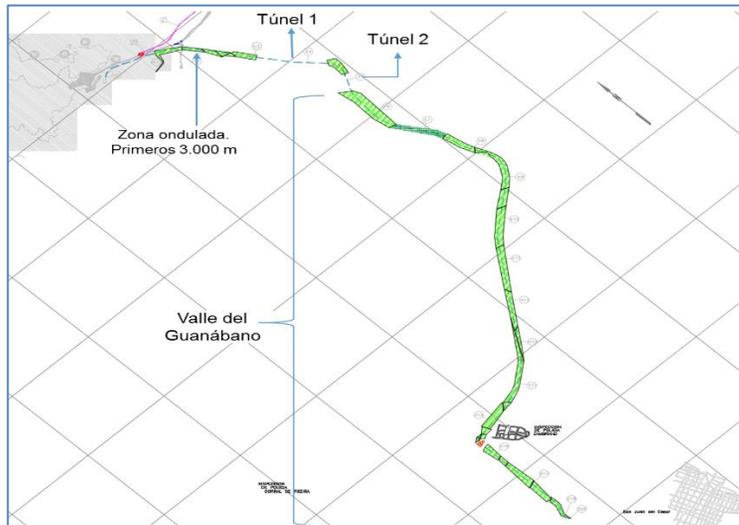


Figura 3. Planta del trazado de conducción San Juan del Cesar



Figura 4. Planta satelital conducción San Juan¹

El caudal estimado es de 2.5 m³/s, correspondiente a las demandas de acueducto de San Juan del Cesar y a la demanda máxima mensual de riego para el distrito de San Juan del Cesar según que se encuentran el Plan Agropecuario formulado por la Unión Temporal San Juan, en el diseño realizado para el Proyecto San Juan del Cesar entre 1997 y 1999.

Las cotas de terreno de llegada que se han adoptado como puntos de referencia para determinar las alturas piezométricas, que permitan atender en forma adecuada el riego de las dos áreas son 250 msnm.

Características generales:

✓ Longitud	18.1 km	
✓ Diámetro	1.300 mm	
✓ Presión	K0+00 al K3+024.37	121 psi
	K5+489.70 al K6+945.00	121 psi

¹ Fuente: Google Earth

	K6+945.00 al K9+891.60	140 psi
	K9+891.60 al K13+918.401	150 psi
	K13+918.401 al K18+115.30	180 psi
✓ Estructuras especiales	Estructura de toma embalse	
	Túnel con longitud total de 2.33 km	
	Cámara de quiebre o de válvulas	

1.2. Memorias de Cálculo

Este apartado presenta los criterios de diseño y las memorias de cálculo de las tuberías encargadas de llevar el agua hasta el distrito de riego San Juan del Cesar. En el numeral 1 se presenta un breve resumen de los trabajos de topografía que se realizaron en los corredores de las conducciones, seguido del numeral 2 donde se describen las estructuras de las cuales las conducciones toman el agua. En los numerales 3 y 4 se detallan los criterios que se tuvieron en cuenta para la elaboración del alineamiento en planta y perfil de las tuberías. El numeral 5 describe los accesorios que llevan las tuberías y su disposición. Los numerales 6 y 7 presentan los cálculos hidráulicos elaborados para el diseño de las conducciones.

1.2.1. topografía

Los trabajos de topografía consistieron en el replanteo del eje de las tuberías y nivelación con nivel de precisión. Se tomaron secciones transversales cada 50 m y se hizo radiación con estación total en los sitios especiales como cruces de quebradas y vías. Los ejes fueron amarrados al sistema IGAC y a los vértices materializados en las áreas de la presa principal. A lo largo de los corredores de la conducción se materializaron BMs con sus respectivas referencias; no se tomaron secciones transversales en los tramos de túnel, solo se realizó radiación en las zonas de los portales.

1.2.2. estructuras de toma

Esta conducción toma el agua del tanque dissipador de presión, teniendo en cuenta que si la tubería toma el agua directamente de la presa se tendría una cabeza inicial mínima de 352.2 msnm, que corresponde al nivel mínimo del embalse, y una máxima de 435.5 msnm que corresponde al nivel máximo de operación del embalse. Esta situación obligó a diseñar la tubería de tal manera que con el nivel mínimo de embalse se tuviera la cabeza suficiente al final de la conducción, y además que la tubería pudiera soportar las altas presiones en el caso de que el embalse se encontrara en su nivel máximo; teniendo en cuenta el costo de la tubería se diseñó el tanque amortiguador de presión. Este tanque tiene 2.8 m de ancho y 24.0 m de largo, con una cota del nivel del agua de 352.2 msnm, el eje de la tubería a la salida del tanque se encuentra en la cota 351.0 msnm. El tanque cuenta con una válvula de control de paso anular (también conocidas como de émbolo o aguja), que regula el caudal.

1.2.3. alineamiento horizontal de las conducciones

El alineamiento de esta conducción también se basó en la alternativa seleccionada en el informe de análisis de alternativas (Alternativa No. 3). Igualmente se ajustó el recorrido de la conducción para que los cambios de dirección se hicieran mediante curvas de gran radio. Con esto se procedió a hacer un levantamiento topográfico detallado en campo donde se hicieron nuevamente ajustes al eje de la conducción de acuerdo con las condiciones encontradas en campo, procurando siempre seguir la ruta más corta y simplificando al máximo las estructuras requeridas.

Esta conducción se compone de tres tramos de tubería a presión y dos túneles a flujo libre. Las transiciones entre los túneles y las tuberías se hacen mediante cámaras de sección variable de 1.9 m a 3.0 m de ancho y de 2.3 m de longitud. Las cinco secciones se localizan de la siguiente manera:

- ✓ Sección 1: La conducción inicia con un tramo de tubería (llamada Tubería 1) que va desde el K0+000.00 hasta el K3+007.08, donde el agua entra a la Cámara de Transición de Entrada 1, que termina en el K3+009.38.

- ✓ Sección 2: En la abscisa K3+009,38 se inicia el primer túnel (llamado Túnel 1) que termina en la K4+480.02; en este punto el flujo entra a la Cámara de Transición de Salida 2 que termina en el K4+482.32.
- ✓ Sección 3: El tercer tramo (llamado Tubería 2) inicia en el K4+482.32 y termina en el K4+763.97, donde inicia la Cámara de Transición de Entrada 2 que termina en K4+766.27.
- ✓ Sección 4: El cuarto tramo corresponde al segundo túnel (llamado Túnel 2) que inicia en la abscisa K4+766.27 y termina en la abscisa K5+484.58, donde inicia la Cámara de Transición de Salida 2 que termina en el K5+486.88.
- ✓ Sección 5: En el K5+486.88 inicia la tercera tubería (llamada tubería 3) que finaliza con la conducción en el K18+139,20.

La sección escogida para los túneles fue la mínima necesaria por razones constructivas ($r=1.5$ m) y el revestimiento estuvo dado más por razones hidráulicas que geotécnicas, ya que se requiere recubierto para disminuir la rugosidad del fondo y de las paredes. Dado que la sección del túnel corresponde a una galería de exploración, el diseño definitivo del sistema de sostenimiento de las paredes se realizó durante la misma excavación del túnel.

1.2.4. alineamiento vertical de las conducciones

El alineamiento vertical de la conducción se hizo teniendo en cuenta que el espesor del relleno sobre la tubería debería ser de 70 cm como mínimo, procurando siempre profundizarse lo menos posible y evitar en lo posible los cambios de pendiente, en especial aquéllos que obligan a la instalación de una válvula de ventosa o purga. También se tuvo en cuenta que la tubería debía tener como mínimo una pendiente del 0.2%. Los ángulos de deflexión verticales se minimizaron al máximo y se procuró tener el menor número de codos, haciendo los cambios de pendiente mediante curvas de radios mayores a 100 m. Los alineamientos generales e pueden ver en los planos UTG-201AB-CS-001 y UTG-201AB-CS-002, que se encuentran el Anexo No. 1.

En la parte final, la conducción a San Juan cruza el río Cesar, donde se encuentra un deposito aluvial compuesto por materiales finos como arenas limos y arcillas; este depósito

puede tener una profundidad mayor a 20 m, en este caso se cruzó el río mediante un viaducto cimentado en pilotes.

La conducción a San Juan comienza en la cota 352.3 msnm, desciende hasta llegar aproximadamente hasta la cota 307.5 msnm donde asciende hasta la cota 343.5 msnm lugar donde inicia el primer túnel; los dos túneles y la tubería que los une (tubería 2) van con la pendiente del 0.2%, por lo tanto, el segundo túnel sale en la cota 340.0 msnm. En este punto la tubería 3 comienza con una pendiente de 0.15% a lo largo de los primeros 6.0 m con el fin de asegurar que el flujo vaya a tubo lleno, para después descender hasta la cota 230.0 msnm donde finaliza la conducción.

CRUCES BAJO QUEBRADAS

Los cruces bajo quebradas se hicieron dejando una profundidad de la clave del tubo mínima de 1,2 m, para protegerlo de la socavación. Adicionalmente se tuvo en cuenta una protección del cauce de la quebrada con rocas redondeadas. El cálculo del diámetro aproximado de estas rocas se hizo mediante la fórmula de Isbach:

$$V = C * \left(2 * g * \left(\frac{\varphi_s - \varphi_w}{\varphi_w} \right) \right)^{1/2} * (D)^{1/2}$$

Dónde:

V = Velocidad de flujo = 3.0 m/s

C= Coeficiente igual a 1.2

g = Aceleración debida a la gravedad = 9.81 m/s²

φ_s = Peso específico de la roca = 2.5

φ_w = Peso específico del agua = 1.0

D = Diámetro de la roca (m)

Despejando de esta ecuación se obtiene un diámetro de 21 cm. Estas rocas se deben poner en dos capas como mínimo, una todo el ancho de la zanja.

1.2.5. disposición de accesorios

Los accesorios con que cuenta la conducción son:

Salidas:

Se instaló en la conducción a San Juan en los puntos donde se debe hacer derivaciones de caudal; estos puntos son:

- ✓ Consumo riego jurisdicción de Chorreras: Localización: K2+210, diámetro de la salida: 16"
- ✓ Consumo acueductos de San Juan del Cesar: Localización: K15+600, diámetro de la salida: 24"

Válvulas de Corte:

Para la conducción a San Juan se diseñaron tres válvulas: la primera está al finalizar el segundo túnel en el K5+493.23, la segunda en un punto medio de la conducción en la abscisa K9+870 y la tercera en el K18+139.2; el diámetro de estas será 40".

Bocas de Acceso:

Se diseñaron con el fin de ingresar a la tubería; se instaló cada 1.5 km aproximadamente y su diámetro será de 24".

Válvulas Ventosas y Válvulas de Purga:

Se diseñaron en los puntos más altos y más bajos de la conducción.

Macro medidores:

En el inicio y al final de las conducciones se dejó prevista la instalación de medidores de flujo ultrasónicos; estos medidores consisten en dos sensores mojados ubicados a los

lados, que penetran en la tubería. Por su diseño estos sensores no distorsionan las paredes de la tubería, por lo tanto, no generan turbulencia ni acumulación de sólidos en los puntos de medición.

1.2.6. caudal de diseño

El caudal de diseño para las conducciones se calculó con base en el informe “Análisis de Requerimientos de Agua para la Alternativa Seleccionada de Cultivos y Fechas de Siembra de los Futuros Distritos de Riego del Río Ranchería y de San Juan del Cesar, y Operación del Embalse de la Presa El Cercado sobre el Río Ranchería”. GC-814-051-115, Revisión 4.

Se listaron los volúmenes de agua requeridos decadalmente en los 31 años de registro de precipitación (1971 a 2001). En este listado se identificó la demanda que era superada por el 20% del número de datos, es decir que se tenían 31(años) * 12(meses) * 3(décadas) datos de demandas decadales de agua, el 20% de 1116 es 223.2, por lo tanto, se tomó el dato número 223 de los 1116 ordenados de mayor a menor. Esta demanda ya se encuentra afectada por las eficiencias de conducción, distribución y aplicación.

Para este caso el consumo decadal que es superado solo por el 20% de los demás consumos es igual a 1'601,387 m³, que corresponden al consumo estimado en la tercera década de diciembre de 1972. Nuevamente se toma un periodo de tiempo igual a 10 días con 18 horas de trabajo diarias, para calcular el caudal con fines de riego, al cual se le sumó el consumo del acueducto de San Juan, que es igual a 175 l/s para obtener un caudal de diseño para la conducción de 2.5 m³/s

1.2.7. diseño hidráulico de las conducciones

Para la simulación hidráulica de las tuberías en la conducción se utilizó el programa EPANET y para los túneles a flujo libre el programa HEC-RAS; con estos programas se obtuvieron los valores con los cuales se trazó la línea de piezométrica y la línea de energía.

Tuberías: Las pérdidas por fricción en las tuberías se calcularon con la fórmula de Manning.

$$h_f = \frac{10.3 * n^2 * l * Q^2}{\phi^{5.33}}$$

Dónde:

h_f = Pérdidas por fricción (m)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

L = Longitud de tubería (m)

Q = Caudal transportado (m³/s)

ϕ = Diámetro de tubería (m)

El coeficiente de Manning utilizado para este caso fue de 0.011.

Las pérdidas localizadas se calcularon con la siguiente formula:

$$h_L = K * \left(\frac{v^2}{2 * g} \right)$$

Dónde:

h_L = Pérdidas localizadas (m)

K = Coeficiente de pérdidas (sin unidades)

V = Velocidad del flujo (m/s)

g = Aceleración debida a la gravedad (9.81 m/s²)

Los coeficientes de pérdidas localizadas (K) son los siguientes:²

En las derivaciones de caudal: $K = 0.05$

En las entradas a la tubería $K = 0.5$

Válvulas mariposa $K = 0.4$

Deflexiones

0°-30° $K = 0.065$

30°-45° $K = 0.12$

45°-60° $K = 0.13$

² José Luis de Paco López-Sánchez (1993). *Fundamentos de Calculo Hidráulico en los Sistemas de Riego y Drenaje*. Madrid, España. S.A. Mundi-Prensa Libros.

Al programa se le ingresaron nodos y tuberías que unían a estos nodos, formando una red abierta de 18,11 km de longitud. Para este caso se ingresaron nodos para los puntos donde había cambios de dirección o cambios de pendiente, también en los lugares donde se localizaba algún accesorio o había una entrega de caudal.

Por cada nodo se ingresaron los siguientes datos:

- ✓ Nombre del nodo
- ✓ Coordenadas Norte y Este
- ✓ Cota de la clave de la tubería
- ✓ Demanda
- ✓ Coeficiente de pérdidas localizadas

Por cada tubería se ingresaron los siguientes datos:

- ✓ Nombre de la tubería
- ✓ Nombre de los dos nodos a los que une
- ✓ Longitud
- ✓ Diámetro
- ✓ Rugosidad

Se hicieron corridas independientes en el programa para las tres tuberías que componen esta conducción.

En la simulación hidráulica de la primera sección, llamada Tubería 1, hay un nivel de energía en su punto inicial con una cota de 352.2 msnm, dada por el tanque amortiguador de presión. Esta tubería entrega el caudal en la cámara de entrada 1, en la que se inicia el flujo libre.

El segundo tramo de tubería llamado Tubería 2, va desde el final de la cámara de salida 1 hasta la cámara de entrada 2. Este tramo se calculó teniendo en cuenta que la cabeza inicial de 342.06 msnm estaba dada por la condición agua abajo del canal abierto conformado por las cámaras de transición y el Túnel 1 (más adelante se muestra el cálculo de estos canales). En la entrada a la cámara de entrada 2 se inicia el segundo tramo a flujo libre, en el Túnel 2.

El tercer tramo de tubería que va desde la Cámara de Salida 2 hasta el final de la conducción y es llamado Tubería 3, se calculó teniendo en cuenta que la cabeza inicial de 340.05 msnm estaba dada por la condición aguas abajo del canal conformado por las cámaras de transición y el Túnel 2.

Como se dijo anteriormente el cálculo hidráulico del flujo en los túneles se hizo usando el programa HEC-RAS. Las pérdidas por fricción en los canales abiertos conformados por los túneles a flujo libre y las cámaras de transición se calcularon con la fórmula de Manning

$$hf = \frac{n^2 * Q^2}{A^2 * R^{4/3}} * L$$

Dónde:

hf = Pérdidas por fricción (m)

n= Coeficiente de rugosidad de Manning

L= Longitud del canal (m)

Q= Caudal transportado (m³/s)

A= Área mojada: (Base canal) * (Altura Lámina de agua) (m²)

R= Radio Hidráulico: A/P (m)

P= Perímetro mojado: (Base canal) + 2*(Altura Lámina de agua)

Debido a que la rugosidad en las paredes del túnel es mayor a la rugosidad en el piso del mismo, se calculó un n promedio utilizando la siguiente ecuación:

$$n_p = \frac{(P_1 * n_1^2 + P_2 * n_2^2)^{1/2}}{P^{1/2}}$$

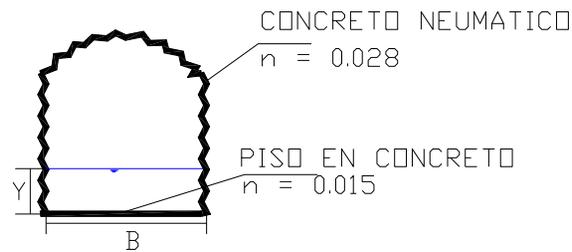


Figura 5. Sección de túneles

Dónde:

- n_p = Coeficiente de rugosidad de Manning promedio
- n_1 = Coeficiente de rugosidad de Manning concreto neumático = 0.028
- n_2 = Coeficiente de rugosidad de Manning piso concreto = 0.015
- P_1 = Perímetro mojado de las paredes = $2 \cdot y$ (m)
- P_2 = Perímetro mojado del piso = B (m)
- P = Perímetro mojado total = $B + 2 \cdot y$ (m)

Para el cálculo del flujo en las cámaras de salida se utilizó un coeficiente de rugosidad de Manning igual al del concreto ($n = 0.015$).

El cálculo de la altura de la lámina de agua y la línea de energía se basó en el siguiente procedimiento:

1. Se calculó la pendiente crítica ($Sc = 0.0042$) y profundidad crítica ($Yc = 0.41$ m)
2. Se calculó la profundidad normal ($Yn = 0.63$ m)
3. Con los anteriores datos se definió el tipo flujo. (Flujo subcrítico, con una pendiente suave)
4. Se calculó la condición agua abajo en el canal (Profundidad del agua final de cada túnel, $Y=1.53$ m)
5. Se hizo el cálculo del perfil utilizando el programa HEC-RAS. Se tomaron secciones cada 0.23 m en la cámara de salida y cada 50 m en el túnel; por cada sección se ingresa la geometría del canal, el caudal y la rugosidad. El programa calculó la

elevación de la lámina de agua, la energía, la velocidad y el número Froude en cada sección, como se observa en los cuadros:

**CONDUCCIÓN A SAN JUAN
TÚNEL 1
CALCULO HIDRÁULICO**

ABSCISA	NIVEL DEL PISO DEL CANAL (msnm)	NIVEL DE LA LAMINA DE AGUA (msnm)	PROFUNDIDAD DE LA LAMINA DE AGUA (m)	ANCHO DEL CANAL (m)	AREA MOJADA (m ²)	VELOCIDAD (m/s)	ENERGIA (msnm)	NUMERO DE FROUDE
K3+007,1	343,48	344,78	1,30	1,90	2,47	1,01	344,83	0,66
K3+009,4	343,48	344,11	0,63	3,00	1,89	1,32	344,20	0,60
K3+959,4	341,58	342,21	0,63	3,00	1,89	1,32	342,30	0,53
K4+009,4	341,48	342,18	0,70	3,00	2,10	1,19	342,25	0,46
K4+059,4	341,38	342,15	0,77	3,00	2,32	1,08	342,21	0,39
K4+109,4	341,28	342,13	0,85	3,00	2,57	0,97	342,18	0,34
K4+159,4	341,18	342,12	0,94	3,00	2,83	0,88	342,16	0,29
K4+209,4	341,08	342,11	1,03	3,00	3,11	0,80	342,15	0,25
K4+259,4	340,98	342,11	1,13	3,00	3,39	0,74	342,13	0,22
K4+309,4	340,88	342,10	1,22	3,00	3,67	0,68	342,12	0,20
K4+359,4	340,78	342,10	1,32	3,00	3,95	0,63	342,12	0,18
K4+409,4	340,68	342,09	1,41	3,00	4,24	0,59	342,11	0,16
K4+459,4	340,58	342,09	1,51	3,00	4,53	0,55	342,10	0,14
K4+480,0	340,53	342,09	1,56	3,00	4,66	0,54	342,10	0,14
K4+480,3	340,53	342,09	1,56	2,90	4,50	0,56	342,10	0,14
K4+480,5	340,53	342,08	1,55	2,78	4,31	0,58	342,10	0,15
K4+480,7	340,53	342,08	1,55	2,66	4,12	0,61	342,10	0,16
K4+480,9	340,53	342,08	1,55	2,56	3,96	0,63	342,10	0,16
K4+481,2	340,53	342,08	1,55	2,44	3,77	0,66	342,10	0,17
K4+481,4	340,53	342,08	1,55	2,34	3,61	0,69	342,10	0,18
K4+481,6	340,53	342,07	1,54	2,22	3,42	0,73	342,10	0,19
K4+481,9	340,53	342,07	1,54	2,12	3,27	0,77	342,10	0,20
K4+482,1	340,53	342,07	1,54	2,00	3,07	0,81	342,10	0,21
K4+482,3	340,53	342,06	1,53	1,90	2,92	0,86	342,10	0,22

Tabla No. 1 Calculo hidráulico de túnel 1

CONDUCCIÓN A SAN JUAN
TÚNEL 2
CÁLCULO HIDRÁULICO

ABSCISA	NIVEL DEL PISO DEL CANAL (msnm)	NIVEL DE LA LAMINA DE AGUA (msnm)	PROFUNDIDAD DE LA LAMINA DE AGUA (m)	ANCHO DEL CANAL (m)	ÁREA MOJADA (m ²)	VELOCIDAD (m/s)	ENERGÍA (msnm)	NÚMERO DE FROUDE
K4+764,0	339,97	341,27	1,30	1,90	2,47	1,01	341,32	0,69
K4+766,3	339,96	340,59	0,63	3,00	1,89	1,32	340,68	0,66
K4+961,1	339,57	340,20	0,63	3,00	1,89	1,32	340,29	0,60
K4+966,3	339,56	340,20	0,64	3,00	1,90	1,31	340,28	0,53
K5+016,3	339,46	340,16	0,70	3,00	2,09	1,20	340,24	0,46
K5+066,3	339,36	340,14	0,78	3,00	2,32	1,08	340,20	0,39
K5+116,3	339,26	340,12	0,86	3,00	2,58	0,97	340,17	0,33
K5+166,3	339,16	340,11	0,95	3,00	2,84	0,88	340,15	0,29
K5+216,3	339,06	340,10	1,04	3,00	3,12	0,80	340,13	0,25
K5+266,3	338,96	340,09	1,13	3,00	3,39	0,74	340,12	0,22
K5+316,3	338,86	340,09	1,23	3,00	3,67	0,68	340,11	0,20
K5+366,3	338,76	340,08	1,32	3,00	3,96	0,63	340,10	0,18
K5+416,3	338,66	340,08	1,42	3,00	4,25	0,59	340,10	0,16
K5+466,3	338,56	340,08	1,52	3,00	4,54	0,55	340,09	0,14
K5+484,6	338,53	340,08	1,55	3,00	4,65	0,54	340,09	0,14
K5+484,8	338,53	340,07	1,54	2,89	4,47	0,56	340,09	0,14
K5+485,0	338,53	340,07	1,54	2,78	4,30	0,58	340,09	0,15
K5+485,3	338,53	340,07	1,54	2,67	4,13	0,61	340,09	0,16
K5+485,5	338,53	340,07	1,54	2,56	3,95	0,63	340,09	0,16
K5+485,7	338,52	340,07	1,55	2,45	3,78	0,66	340,09	0,17
K5+486,0	338,52	340,07	1,55	2,34	3,61	0,69	340,09	0,18
K5+486,2	338,52	340,06	1,54	2,23	3,44	0,73	340,09	0,19
K5+486,4	338,52	340,06	1,54	2,12	3,26	0,77	340,09	0,20
K5+486,7	338,52	340,06	1,54	2,01	3,09	0,81	340,09	0,21
K5+486,9	338,52	340,05	1,53	1,90	2,91	0,86	340,09	0,22

Tabla No. 2 Calculo hidráulico de túnel 2

6. Con los valores obtenidos de la corrida hidráulica de los canales se encontró gráficamente que el flujo en la abscisa K3+959.4 en el Túnel 1 y K4+961.1 en el Túnel 2 alcanzaba su profundidad normal; esta profundidad se mantuvo constante aguas arriba del canal hasta llegar a las respectivas cámaras de entrada. En las cámaras de entrada la lámina tendrá inicialmente una altura igual al diámetro del

tubo 1.3 m e irá disminuyendo hasta alcanzar la profundidad normal. En el Anexo No. 2 se observa la línea de energía y piezométrica.

El cálculo de la pendiente crítica, la profundidad crítica, la profundidad normal y la condición aguas abajo se muestra a continuación:

- **Lámina crítica Y_c :** para el estado crítico del flujo la altura de velocidad es igual a la mitad de la profundidad hidráulica y la energía específica mínima.

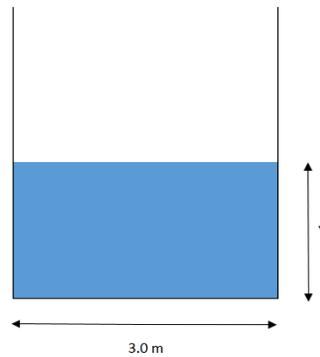


Figura 6. Sección túnel para Y_c

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{y}{2}$$

Donde:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{2.50}{Y_c * 3.0} \rightarrow \frac{\left(\frac{2.50}{Y_c * 3.0}\right)^2}{2 * 9.81} = \frac{Y_c}{2}$$

$$\rightarrow \frac{6.25}{Y_c^2 * 9.0} = Y_c \rightarrow \frac{6.25}{88.29 * Y_c^2} = Y_c$$

$$\rightarrow Y_c^3 = 0.07079 \rightarrow Y_c = 0.41 \text{ m}$$

- **Pendiente crítica:**

$$S_c = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{\frac{4}{3}}}$$

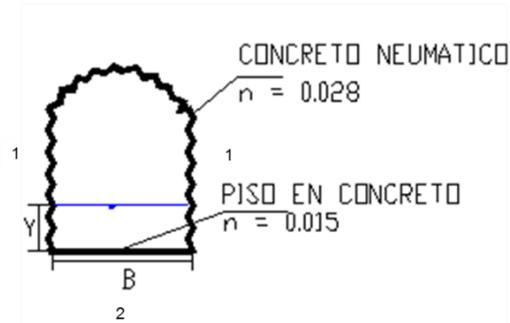


Figura 7. Sección túnel coeficientes de rugosidad

Donde:

$$n = \frac{(P_1 * n_1^2 + P_2 * n_2^2)^{\frac{1}{2}}}{P^{\frac{1}{2}}}$$

$$n = \frac{(2Y * n_1^2 + B * n_2^2)^{\frac{1}{2}}}{(2Y + B)^{\frac{1}{2}}}$$

$$n = \frac{(2 * 0,41 * 0.028^2 + 3.0 * 0.015^2)^{\frac{1}{2}}}{(2 * 0,41 + 3.0)^{\frac{1}{2}}}$$

$$n = 0.01857$$

$$\rightarrow S_c = \frac{2.5^2 * 0.01857^2}{(3 * 0.41)^2 * \left(\frac{3 * 0.41}{3 * 2 * 0.41}\right)}$$

$$\rightarrow S_c = 0.0042$$

$$Si S_0 = 0.002$$

$$\rightarrow S_c > S_0$$

- **Calculo de la profundidad normal:**

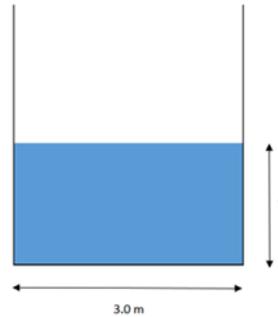


Figura 8. Sección túnel para Y_n

$$Si Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * \sqrt{S_0}$$

$$Donde Q = 2.50$$

$$n = \frac{(2Yn * 0.0028^2 + B * 0.0015^2)^{\frac{1}{2}}}{(2Yn + B)^{\frac{1}{2}}}$$

$$A = B * Yn$$

$$R = \frac{B * Yn}{2Yn + B}$$

$$S_0 = 0.002$$

Iterando en la ecuación se tiene que:

$$Yn = 0.63 m$$

- **Condición aguas abajo:**

✓ Condición aguas abajo túnel 1

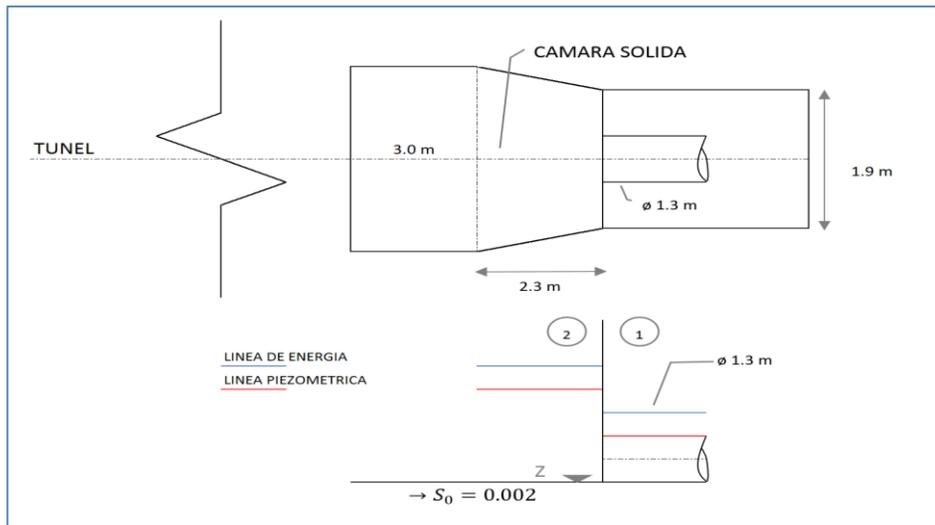


Figura 9. Planta y perfil, condición aguas abajo túneles

$$E_2 = Z + \phi + 0.5 * \left(\frac{V_1^2}{2g} \right) + \frac{V_1^2}{2g} \text{ para } Z = 340.53 \text{ msnm}$$

$$\text{Si } A_2 = \frac{1.3^2 * \pi}{4} = 1.327 \text{ m}^2$$

$$\text{Entonces } U_1 = \frac{2.5}{1.327} = 1.88 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$E_2 = 340.53 + 1.3 + 1.5 * \left(\frac{1.88^2}{2 * 9.81} \right) = 342.10 \text{ msnm}$$

$$E_1 = Z + \phi + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$E_1 = 340.53 + 1.3 + \frac{1.88^2}{2 * 9.81} = 342.01 \text{ msnm}$$

$$H_2 = E_2 - \frac{V_2^2}{2g} = Z + Y$$

$$\text{Donde } V_2 = \frac{2.5}{Y * 1.9}$$

$$\rightarrow 342.10 - \left(\frac{\left(\frac{2.5}{Y * 1.9} \right)^2}{2 * 9.8} \right) = 340.53 + Y$$

$$\text{Despejado } Y \rightarrow Y = 1.53 > \phi 1.30 \text{ m}$$

$$\text{Nivel lámina aguas abajo} = 340.53 + 1.53 = 342.06 \text{ msnm}$$

✓ Condición aguas abajo túnel 2

$$Z = 338.52 \text{ msnm}$$

$$E_2 = Z + \phi + 0.5 * \left(\frac{V_1^2}{2g} \right) + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$E_2 = 338.52 + 1.3 + 1.5 * \left(\frac{1.88^2}{2 * 9.81} \right) = 340.09 \text{ msnm}$$

$$E_1 = Z + \phi + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$E_1 = 338.52 + 1.3 + \frac{1.88^2}{2 * 9.81} = 340.00 \text{ msnm}$$

$$E_2 - \frac{V_2^2}{2g} = Z + Y$$

$$\rightarrow 340.09 - \left(\frac{\left(\frac{2.5}{Y * 1.9} \right)^2}{2 * 9.8} \right) = 338.52 + Y$$

Despejado $Y \rightarrow Y = 1.53$

Nivel lámina aguas abajo = $338.52 + 1.53 = 340.05 \text{ msnm}$

2. Construcción Conducción San Juan

Las actividades de construcción se realizaron conforme al procedimiento para la construcción e instalación de tuberías y accesorios aprobado y, conforme a las Especificaciones Técnicas de Construcción.

Las actividades se iniciaron con la adquisición de predios, localización y replanteo del eje de la tubería, toma de secciones topográficas del perfil del terreno natural, continuando con las excavaciones a cielo abierto y en zanja para terreno común y rocoso, achique de aguas, colocación del material para el encamado de la tubería, suministro e instalación de tuberías y accesorios, suministro y colocación de material seleccionado para confinamiento y atraque de la tubería, colocación de material proveniente de la excavación para cobertura de la tubería, construcción de cajas para accesorios y válvulas, pruebas hidrostáticas y conformación de la rasante del corredor de la conducción.

Las obras más relevantes desarrolladas fueron las siguientes:

2.1. Caracterización Geotécnica de la Zona

La descripción de la estratigrafía de esta conducción se puede resumir así:

- ✓ K 0 + 000 al K 0 + 070. Roca ígnea, algo fracturada, muy dura.
- ✓ K 0 + 070 al K 1 + 740. Depósito coluvial de bloques y fragmentos de roca, con tamaños hasta de 1.5 m de diámetro, en matriz de arcilla limo – arenosa, muy denso. Este depósito tiene en promedio 3.00 m de espesor para encontrarse debajo el estrato rocoso descrito en el tramo anterior.
- ✓ K 1 + 740 al K 3 + 420. Terraza aluvial con un espesor hasta de 5.00 m. Conformada por fragmentos angulares y cantos de roca ígnea, con tamaños hasta de 0.9 m de diámetro, en una matriz de arena limosa, muy denso.
- ✓ K 3 + 420 al K 3 + 800. Depósito coluvial de fragmentos y cantos de roca tobácea, con tamaños hasta de 0.50 m, en una matriz de arena limosa, muy denso. Este depósito puede tener unos 2 m de espesor, para encontrarse debajo el estrato rocoso de tobas.

- ✓ K 3 + 800 al K 4 + 200. Tramo en túnel. Estrato rocoso de la Formación Corual (TRc), representada por tobas frescas y moderadamente fracturadas, duras.
- ✓ K 4 + 200 al K 5 + 650. Estrato rocoso de arenisca tobácea, meteorizada y fracturada, dura.
- ✓ K 5 + 650 al K 6 + 140. Tramo en túnel. Formación Guatapurí (TRg), tobas, meteorizadas y fracturadas, duras.
- ✓ K 6 + 140 al K 6 + 400. Formación Guatapurí (TRg), areniscas tobáceas, meteorizadas y fracturadas, duras.
- ✓ K 6 + 400 al K 16 + 200. Se encuentra una terraza aluvial de arena arcillosa, con fragmentos de roca con tamaños hasta de 0.20 m. Entre el K 14 + 200 al K 14 + 920 es posible encontrar debajo de los 2 m de profundidad el estrato rocoso de la Formación Guatapurí.
- ✓ K 16 + 200 hasta la entrega. Depósito aluvial reciente de arenas limpias, con algunos fragmentos de roca ígnea con tamaños hasta de 0.20 m. Este depósito es suelto.

2.2. Topografía

El trabajo de topografía consistió en la localización, trazado y replanteo del eje de las tuberías mediante equipo de precisión tipo estación total y nivelación con nivel de precisión. Se tomó secciones transversales cada 10 m y radiación con estación total en los sitios especiales como cruces de quebradas y vías. Los ejes fueron amarrados al sistema IGAC y a los vértices materializados en las áreas de la presa principal y presa derivadora. A lo largo de los corredores de las conducciones se materializó BMs con sus respectivas referencias para el control de excavaciones, instalación de tubería y rellenos.

2.3. Excavaciones

Una vez localizado el eje de la conducción, se inició con las excavaciones en zanja en material común y en roca, teniendo en cuenta el ancho de la zanja aprobado que dependió del diámetro de la tubería, para la conducción San Juan con ancho de 2.50 m y la profundidad de acuerdo con la cota de batea de la tubería adicionada en 0.20 m (espesor

de la capa de encamado para la tubería). La excavación en material común se realizó con equipo tipo retroexcavadoras y la excavación en roca se removió por medio de explosivos.



Foto No. 1 Excavación a cielo abierto, para instalación de tubería.

La excavación se desarrolló en forma generalmente en talud (variable de 0.25 a 1.0: 1.0) dependiendo de las propiedades presentadas por el suelo y del grado de estabilidad del terreno, desarrollándose el corte de excavación en talud desde la cota del terreno natural hasta la parte superior del tubo (cota clave exterior) de la conducción, y continuando vertical hasta el fondo de excavación (piso de fundación).

Se presentaron zonas donde se realizó excavación bajo agua como fue en el sector adyacente a los arroyos, quebradas y ríos, especialmente en el sector del río Cesar. Para acometer las excavaciones en estos sectores se hizo necesaria la utilización permanente (mientras duró la actividad), de equipo mecánico para el bombeo (motobombas) para abatir el nivel freático.

Paralelamente se adelantaron las excavaciones para las cajas y /o cámaras en concreto reforzado para el alojamiento de válvulas de purga, ventosas, válvulas de corte en la línea, de derivación para riego y acueductos, de boca de acceso, y para macro medidores.

El material de excavación sobrante y/o inadecuado para relleno, se retiró al botadero autorizado más cercano del sitio de excavación.

2.4. Colocación de Material Tipo C – 2 para Encamado de Tubería

Una vez terminada la excavación y de verificar la sección de la zanja en cuanto a las dimensiones requeridas y el fondo estuviera adecuadamente nivelado, se procedió a colocar una capa (cama) de material Tipo C-2 (triturado con tamaño máximo de 1 pulgada) en el ancho de la zanja en un espesor adecuado de 20 centímetros de acuerdo con lo indicado en planos de construcción en cuanto a cotas y pendientes y requerimiento de la calidad del material conforme a lo establecido en las Especificaciones Técnicas de Construcción; esto con el fin de cimentar la tubería sobre una superficie flexible. En los sitios de la línea de fondo definida para la excavación donde se presentó sobre excavación, se realizó el relleno con el material tipo C-2. En los sectores donde la conducción cruzó cuerpos de agua como arroyos, quebradas y ríos se colocó material tipo C-2 incluyendo la zona de confinamiento (atraque) alrededor de la tubería y hasta la parte superior del tubo (cota clave exterior), para garantizar la estabilidad de la tubería, por presencia de nivel freático.

2.5. Instalación de la Tubería y Accesorios CCP

Una vez colocada la capa de cama en material C-2, y previa revisión del estado de la tubería y de limpieza interior y exterior, se procedió con la instalación de la tubería en su posición definitiva de acuerdo los alineamientos, pendiente, cotas y número de pieza indicada en la cartilla de despiece suministrada por el fabricante y diseñador de la tubería American Pipe and Construction Int. Bogotá – Colombia, dejando de una vez ubicados los accesorios y válvulas. El izaje de la tubería se realizó con equipo mecánico tipo grúa telescópica de capacidad de 50 ton.



Foto No. 2 Instalación de tubería

Con respecto a los accesorios y válvulas, se procedió con su instalación conforme a lo indicado en la cartilla de despiece suministrada por el fabricante y diseñador de la tubería, teniendo en cuenta los requerimientos de presión de trabajo.

2.6. Colocación de Material de Relleno Seleccionado

Una vez instalada la tubería se procedió a rellenar con material adecuado y seleccionado, de características conforme a lo indicado en las Especificaciones Técnicas de Construcción. El material se colocó adecuadamente, a ambos lados de la tubería eliminando presiones desiguales a uno y otro lado de la misma, en capas uniformes y compactadas con equipo mecánico (saltarín) a la densidad exigida (90% del Proctor Modificado) por las Especificaciones Técnicas de Construcción.

Este relleno se colocó desde la superficie en contacto del material tipo C-2 dispuesto para el encamado y/o atraque de la tubería hasta la parte alta ubicada a 15 centímetros por encima de la cota clave exterior de la tubería.

2.7. Colocación de Material de Relleno Proveniente de la Excavación

Una vez colocado el relleno seleccionado, encima de éste se procedió con la colocación del relleno de cobertura de la tubería hasta el nivel de rasante. El material colocado corresponde a material adecuado para relleno conforme a lo indicado en las Especificaciones Técnicas de Construcción proveniente de la excavación del sitio

excavado. En los tramos donde se realizó excavación en roca, por ser este material no apto para el relleno requerido, se hizo necesario extraer y transportar material para relleno de los botaderos ubicados más cerca, previa verificación de su calidad cumpliendo los estándares exigidos en la Especificaciones Técnicas de Construcción.



Foto No. 3 Colocación de relleno

El material se colocó adecuadamente, en capas uniformes y compactadas con equipo mecánico vibro–compactador tipo Tándem a la densidad exigida (90% del Proctor Modificado) por las Especificaciones Técnicas de Construcción.

2.8. Construcción de Cajas y/o Cámaras para Accesorios

En la medida que se avanzó con la instalación de la tubería, se fue realizando la construcción de las cajas en concreto reforzado para ventosa, purga, macro medición, boca de acceso y válvulas la construcción se realizó de acuerdo a los planos típicos para estas estructuras, definiendo la altura de las cajas en sitio variable dependiendo de la cota - nivel de la rasante del terreno.

Los materiales utilizados (acero de refuerzo, concreto, sellos PVC, tapas) cumplieron con los estándares de calidad exigidos en las Especificaciones Técnicas de Construcción.

2.9. Construcción de Caissons para Viaducto

Se realizó la excavación y construcción de caissons para la cimentación de los pasos elevados en las conducciones sobre el río Cesar, acto seguido de la construcción de pilas y anclajes en concreto reforzado y montaje de la tubería en acero expuesta.

Este trabajo comprendió la excavación y construcción de cilindros de concreto reforzado en el Subsuelo, a los cuales, una vez alcanzada la profundidad, se les colocó la armadura de refuerzo, y fueron llenados de concreto para conformar la cimentación de estribos o pilas en puentes. Estos se excavaron manualmente. El diámetro fue el indicado en los planos y se construyeron de acuerdo con a las Especificaciones Técnicas de Construcción.



Foto No. 4 Construcción de paso elevado

Los materiales utilizados en la construcción de caissons fueron el concreto y el acero de refuerzo los cuales estuvieron de acuerdo con las Especificaciones Técnicas de Construcción y con la sección A.6.6 del Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes del año 1995 (Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías), y fueron de la resistencia y tipo indicados en los planos.

2.10. Prueba Hidrostática en Campo

Una vez finalizados los rellenos de la tubería y taponados y anclados los extremos del tramo a probar, se procedió con la prueba hidrostática a fin de garantizar la hermeticidad de la tubería instalada. Se realizó la prueba hidrostática de las tuberías CCP Ø 1.30 m; conforme

a la disposición las pruebas hidrostáticas se realizaron siguiendo lo indicado en el Manual M9 de la AWWA Capítulo 15, que recomienda que la prueba hidrostática de la tubería se efectúe al 120% de la presión de trabajo en el punto más bajo de la línea. La prueba se realizó de acuerdo a la secuencia constructiva y conforme con el procedimiento indicado por el fabricante y proveedor de la tubería American Pipe and Construction International, en los tramos, con resultados satisfactorios como se indica a continuación:

Tramo	Presión de trabajo	Presión de Prueba punto más bajo (psi)
✓ K0+00 al K3+024.37	121	73
✓ K5+489.70 al K6+945.00	121	145
✓ K6+945.00 al K9+891.60	140	162
✓ K9+891.60 al K13+918.401	150	182
✓ K13+918.401 al K18+115.30	180	203

Tabla No. 3 Resumen de prueba hidrostática³

2.11. Túneles

La construcción de los túneles se inició con la excavación a cielo abierto de los portales, siguiendo las líneas de excavación indicadas en los planos de construcción para estas estructuras; para la ejecución de estos trabajos se empleó el método de voladuras amortiguadas en el cual se ejecuta por separado (por retardos) la línea de corte con la voladura de producción; este sistema garantiza la menor afectación del macizo rocoso por efectos de las voladuras, repitiendo el procedimiento hasta terminar las líneas de excavación definidas en el diseño.

³ Datos tomados de registro de pruebas hidrostáticas para tuberías de CCP realizados en el año 2009. Documento referencia: Consorcio Desarrollo Guajira (2011). *Informe final de interventoría*. Bogotá, Colombia

El sostenimiento o tratamiento de los taludes excavados se realizó simultáneo con la excavación, el cual consistió primordialmente en la instalación de pernos en la roca y concreto lanzado con malla electrosoldada.

Para el inicio de las excavaciones subterráneas, se realizaron los trabajos previos a la primera voladura, consistentes en la instalación de un abanico de pernos separados cada 70 cm del contorno del frontón, los cuales tienen como objetivo prever desprendimientos excesivos de roca.



Foto No. 5 Portal entrada túnel 2, antes de excavación.

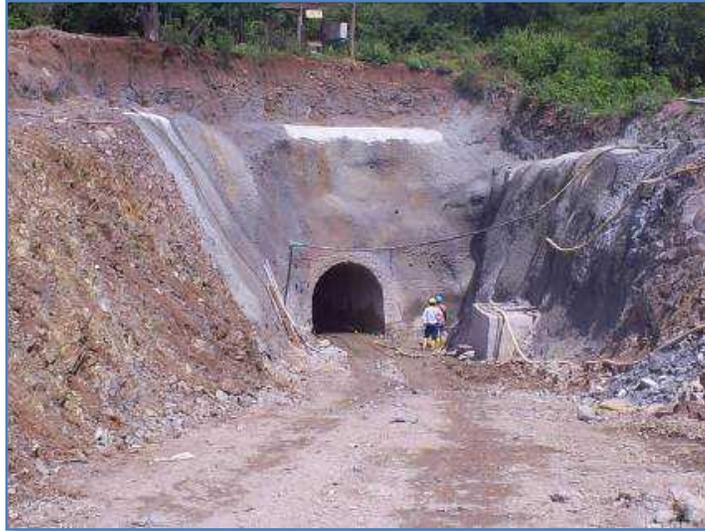


Foto No. 6 Portal entrada túnel 2, después de excavación

En el proceso de excavación de taludes se emplearon voladuras lisas (smooth blasting), consistentes en controlar tanto el alineamiento de cada barreno, como el espaciamiento entre estos; también se tuvo especial cuidado en el tipo de explosivo usado (para minimizar la emisión de gases); otro aspecto importante a controlar en este tipo de voladuras fue la secuencia de detonación de cada línea de fisuración, la cual dependía del tipo de roca en la cual se estuviera excavando.

La excavación de los taludes, consistió en alternar las siguientes actividades secuenciales:

1. Determinación de la voladura (incluye el control topográfico del alineamiento del túnel)
2. Perforación de barrenos
3. Cargue y detonación de la voladura
4. Desaire (inyección de aire forzando la salida de los gases producto de la voladura)
5. Retiro de escombros
6. Definición del tipo de sostenimiento a colocar
7. Instalación de sostenimiento
8. Repetición del mismo proceso hasta terminar la excavación de los túneles.

El sostenimiento de los túneles depende del tipo de roca que se excava, relacionando la descripción de cada túnel.

El esquema de voladura fue la disposición en el frente del túnel de los taladros que se perforaron, la carga de explosivo que se introdujo en cada uno y el orden en que se detonó cada barreno; éste se diseñó al principio de la obra en base a la experiencia y las Especificaciones Técnicas de Construcción. Posteriormente, a lo largo de la excavación del túnel, se ajustaron las voladuras en función de los resultados obtenidos.



Foto No. 7 Instalación de explosivo para excavación.

Después del retiro de material de cada ciclo de excavación, se procedió a instalar los hastiales y proteger las paredes de cada uno de los túneles con un soporte estructural que estaba conformado por concreto lanzado, mallas, y pernos de anclaje. Adicionalmente se sellaron las fracturas y diaclasas de la roca con la inyección lechada a presión y se construyó la solera de cada uno de los túneles.

Los túneles 1 y 2 de la conducción San Juan, tienen una sección transversal en herradura de paredes verticales y solera plana, de 3.00 m de ancho y 1.50 m de radio en su clave, tiene una longitud de 2189.9 m (1469.70 m del túnel 1 y 720.20 m del túnel 2), separados por una ventana de 250.0 m de longitud (con tubería instalada), la pendiente de los túneles es de 0.20% entre las cotas 343.50 m.s.n.m. en el portal de entrada del túnel 1 y la cota 338.50 m.s.n.m. en el portal de salida del túnel 2; la construcción de estos túneles se

justifica por la necesidad de cruzar la cuchilla de San Luis conservando la pendiente del trazado de la tubería de la conducción San Juan al distrito de riego del mismo nombre; en las entradas y salidas de los túneles se construyeron sendas cajas de transiciones para empalmar las tuberías de la conducción con los túneles.



Foto No. 8 Sección de túnel construido

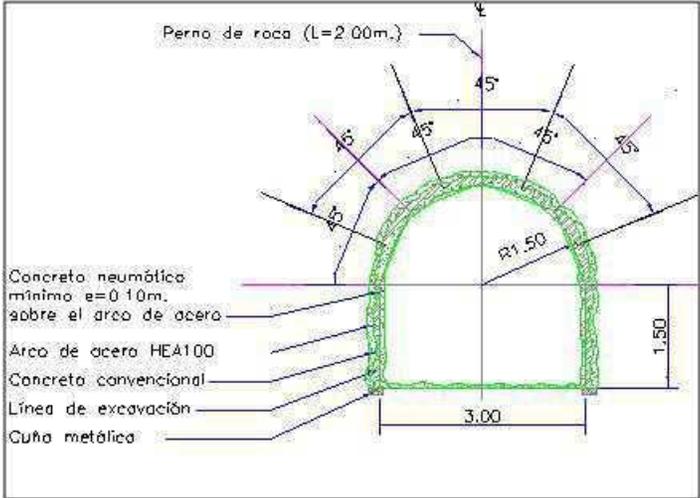


Figura 10 Sección Típica de Sostenimiento

La solera tiene un revestimiento en concreto hidráulico reforzada de 0.20 m de espesor, su sostenimiento consistió en la instalación de arcos metálicos, pernos de roca, malla electro soldada y concreto neumático en proporciones según el tipo de roca, a saber: Para $RMR^4 > 60\%$ se instaló sostenimiento tipo 1 consistente en la colocación de pernos de roca de 1" de diámetro de 2.0 m de longitud donde se requiera, más una capa de 7,00 cm de concreto lanzado en todo el perímetro (1781.50 m de los túneles se excavaron en este tipo de roca); para $20\% < RMR < 60\%$ se instaló el sostenimiento tipo 2 consistente en la colocación una capa de concreto lanzado de 10 cm de espesor, malla electro soldada CQS6 como refuerzo metálico, pernos de roca de 1" de diámetro de 2.0 m de longitud en abanicos alternados de 4 y 5 pernos cada 3.0 m de separación (349.72 m de estos túneles se excavaron en este tipo de roca); para $RMR < 20\%$ se instaló el sostenimiento tipo 3 consistente en la colocación una capa de concreto lanzado de 10 cm de espesor, malla electro soldada CQS6 como refuerzo metálico, pernos de roca de 1" de diámetro de 2.0 m de longitud en abanicos alternados de 4 y 5 pernos cada 3.0 m de separación, soporte metálicos HEA100, cada 1.0 m (58.30 m de los túneles se excavaron en este tipo de roca).



Foto No. 9 Concreto neumático, en paredes de túneles.

⁴ RMR (Rock Mass Rating): índice de calidad del macizo rocoso, que permite hacer una clasificación de las rocas 'in situ' y estimar el tiempo de mantenimiento y longitud de un vano. Se obtienen mediante la suma de las calificaciones parciales de cinco parámetros: la resistencia a compresión simple de la roca, el RQD (Rock Quality Designation), la separación entre las diaclasas, su estado y la presencia de agua freática.

Este índice puede variar entre 0 y 100 y define cinco clases de roca designadas con números romanos que se corresponden con cinco calidades del macizo rocoso: muy buena, buena, media, mala y muy mala.

Referencia: Wikipedia. Clasificación geomecánica de Bienawski o RMR. Mayo 15, 2015 [acceso 13 de Dic. de 15].

https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_geomec%C3%A1nica_de_Bienawski_o_RMR#Definici.C3.B3n

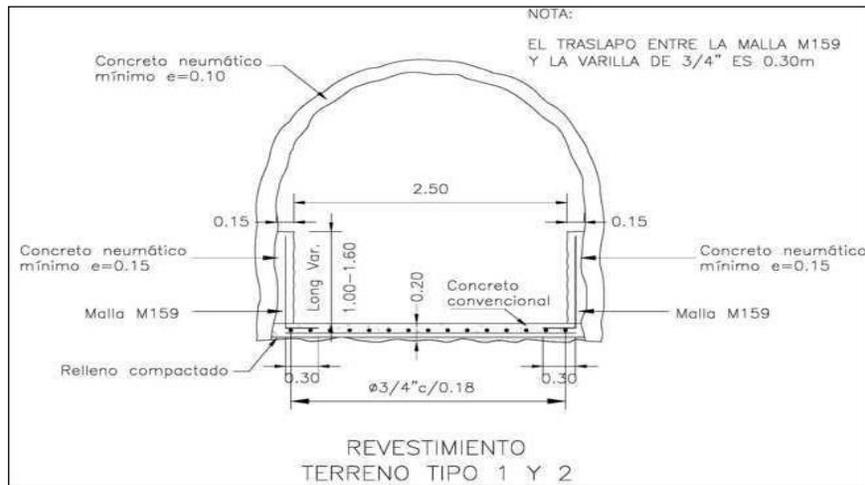


Figura 11 Sección Típica del Revestimiento.

En la construcción de los túneles de la conducción San Juan, se presentaron modificaciones en el sostenimiento que se instaló, el cual se ajustó al tipo de roca que se encontró en su excavación; otra modificación al diseño original, fue el cambio en el revestimiento de las paredes de los túneles, que en vez de construirse en concreto hidráulico se realizaron en concreto lanzado (el cual se ajusta mejor a las condiciones de excavación de los túneles); también se modificaron las cajas de transición de las entradas y salidas de los túneles para ajustarlas a las condiciones de excavación de los portales.

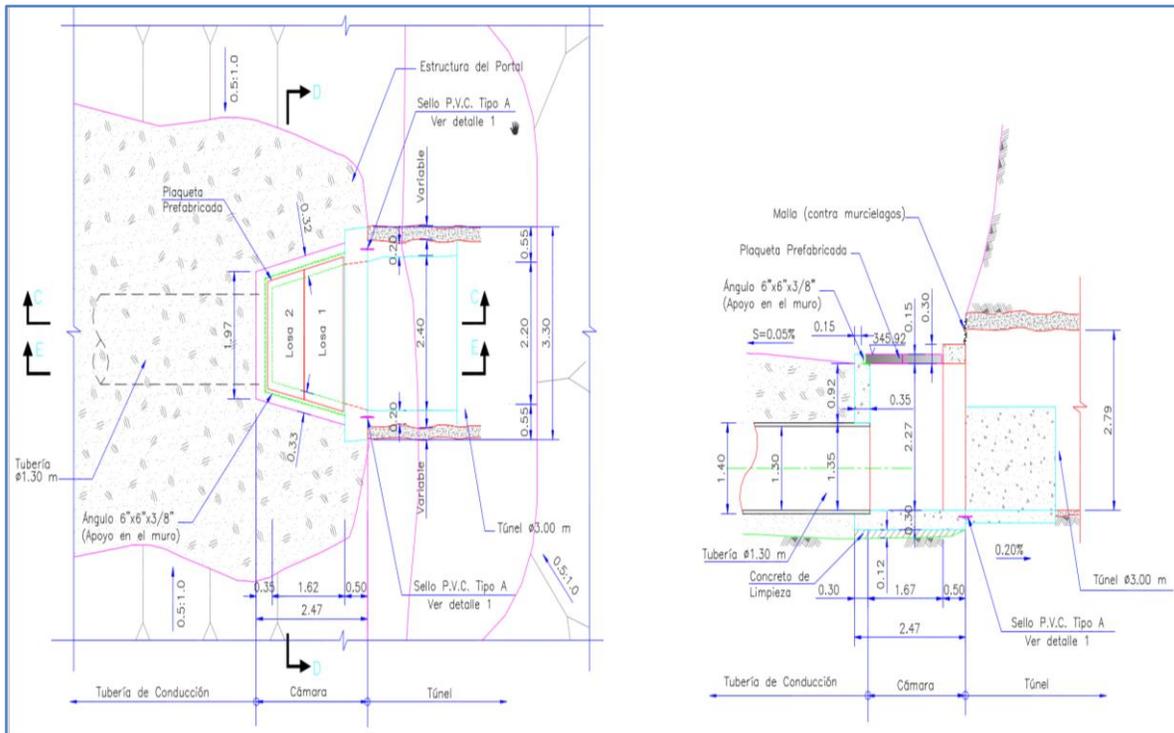


Figura 12 Planta y perfil de cámara de transición de portal de entrada túneles



Foto No. 10 Sección Típica de las Cajas de Transiciones

2.12. Estructuras Anexas a los Túneles

En la medida que terminó la instalación de la tubería y demás válvulas principales del sistema de descarga de fondo se procedió con la construcción del tanque disipador de la

conducción a San Juan del Cesar y casa de válvulas de acuerdo a los planos de construcción y las Especificaciones Técnicas de Construcción. Los materiales utilizados (acero de refuerzo, concreto) cumplieron con los estándares de calidad exigidos en las Especificaciones Técnicas de Construcción.

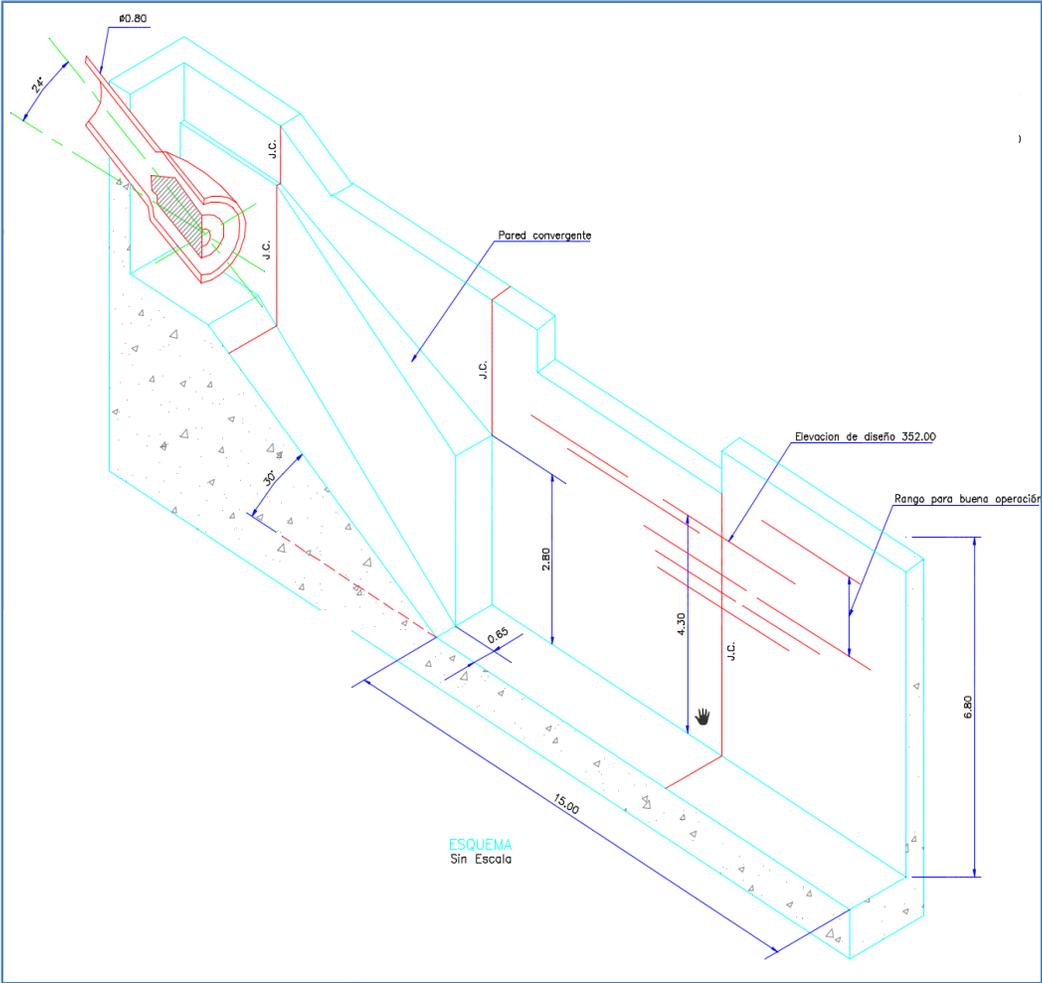


Figura 13 Tanque amortiguador de presión



Foto No. 11 Tanque amortiguador de la Conducción San Juan, estructura de disipación

3. Pruebas Año 2012

Como desarrollo de las labores propias de la operación del embalse El Cercado, en el mes de agosto del año 2012 se realizaron unas pruebas de campo para verificar el estado de la conducción San Juan después de la construcción, ya que esta tubería solo había sido presurizada en la entrega por parte del constructor.

3.1. Preparación de Equipos

Meses antes de iniciar la presurización de la tubería en el año 2012, se verificó y chequeó cada elemento, como son los sistemas de válvulas de: purga, válvulas ventosas, válvulas mariposas, manholes y cámaras húmedas y secas a lo largo de toda la conducción pues algunos de los elementos presentaban corrosión y oxidación. Como resultado de esta actividad hubo la necesidad de cambiar unos empaques de las válvulas, realizar la respectiva limpieza de cada elemento y resanar las paredes de las cámaras que presentaban filtraciones por el nivel freático de la zona.

A continuación, se presentan el mantenimiento de algunos elementos de la conducción:



Foto No. 12 Válvula de compuerta y cheque del sistema de purga K9+129



Foto No. 13 Derivación a acueducto San Juan del Cesar K15+600



Foto No. 14 Válvula de mariposa K18+100



Foto No. 15 Reposición empaque manhole K13+750



Foto No. 16 Evacuación de agua en la cámara de válvula de mariposa de cierre K9+885



Foto No. 17 Desmonte y limpieza de partes de válvula de ventosa K9+885



Foto No. 18 Limpieza de lodo y construcción de muro en la salida para el acueducto de San Juan, en la cámara del K15+600



Foto No. 19 Desmontaje y limpieza purga K6+752



Foto No. 20 Desmontaje y limpieza purga K9+890



Foto No. 21 Reposición empaque en válvula ventosa K18+100



Foto No. 22 Desmontaje y limpieza purga K14+284

3.2. Presurización Conducción San Juan

A fin de conocer el estado real de la tubería y los equipos reparados en los meses anteriores, el día 18 de agosto se realizó la presurización de la conducción San Juan, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

1. Se realizó la apertura de la válvula de mariposa localizada en el bloque distribuidor en el ramal de inicio de la conducción San Juan.



Foto No. 23. Apertura válvula de mariposa

2. Se realizó la maniobra de apertura de la válvula de paso anular localizada en el tanque amortiguador para iniciar con el llenado de la conducción San Juan



Foto No. 24 Apertura válvula de paso anular, taque de amortiguación.

3. Válvula de paso anular abierta, se observó el gran caudal de agua hacia la conducción.



Foto No. 25 Llenado de tanque de amortiguación

4. Se procedió a cerrar la válvula de mariposa localizada en el K9+885 ya que existe evidencia de que aguas abajo existen fugas que impedirían llenar la totalidad de la conducción. Es decir la conducción se presuriza desde el K0+000 hasta el K9+885. Se da inicio al recorrido hacia aguas arriba de esta válvula de mariposa inspeccionando cada elemento de la conducción.



Foto No. 26 Revisión de valvula de mariposa, que sirve de cierre en la mitad de la conducción

Inspección de todos los elementos de la conducción aguas arriba de la válvula de mariposa del K9+885. El objetivo de verificar la operatividad de las válvulas bajo esta condición de presurización de la tubería.



Foto No. 27 Inspeccion de accesorios de la conduccion

5. Se hizo la aproximación al portal se salida del túnel No. 2 y se observó la salida de un gran caudal de agua por la ladera en la que se descuelga la conducción aguas abajo del túnel No. 2.



Foto No. 28 Reboce de agua en el portal de salida del túnel 2

6. Se realizó desplazamiento hacia la válvula de purga localizada en el K1+676 y se procedió a abrirle con el fin de desocupar la conducción y frenar la salida del agua mencionada en el punto 5.



Foto No. 29 Actividades de desocupar la conducción.

7. Se realizó la inspección en el portal de entrada del túnel No.1 y 2 sin encontrar novedad.



Foto No. 30 Inspección en portales de túneles

8. Se realizó desplazamiento nuevamente al portal de salida del túnel No. 2 con el fin de evaluar los daños causados por la salida descontrolada de agua. Se observó a primera vista grandes erosiones y socavaciones en el terreno que cubre la conducción, generadas por la velocidad del flujo de agua.



Foto No. 31 Erosión de terreno por presurización de túneles

9. Se observó la tubería expuesta sin ningún tipo de cobertura luego de la erosión causada por el flujo de agua en la ladera. Se observó la tubería apoyada en sus juntas por medio de anclajes en concreto. Se observó además un daño en la tubería generado probablemente por la caída o el arrastre de rocas, con el agravante de que se encontró expuesto el refuerzo del tubo.



Foto No. 32 Daños en tubería por arrastre de material

10. Se inspeccionó la tapa de acceso del portal de salida del túnel No. 2 encontrándose que dos (2) de las tapas fueron levantadas por la presión del agua, y una de ellas cayó hacia el interior de la caja.



Foto No. 33 Daños en portal de salida del túnel 2

3.3. Actividades Posteriores a Presurización Conducción San Juan

Como resultado de las pruebas hidrostáticas de la conducción, en el portal de salida del túnel No. 2 se evidenció que las tapas de acceso fueron levantadas por la sub-presión del agua. Una de las secciones cayó hacia el interior de la caja.

A fin evitar nuevamente este tipo de impases, con ayuda de un diferencial se realizó el levantamiento de la placa de concreto que había caído sobre la caja de transición del portal salida del túnel 2, y posteriormente se fundió una losa de concreto monolítica sobre casa unas de las secciones de la tapa



Foto No. 34 Levantamiento de tapa en cámara de transición del portal de salida del túnel 2



Foto No. 35 Construcción de losa de concreto sobre las tapas de la conducción.

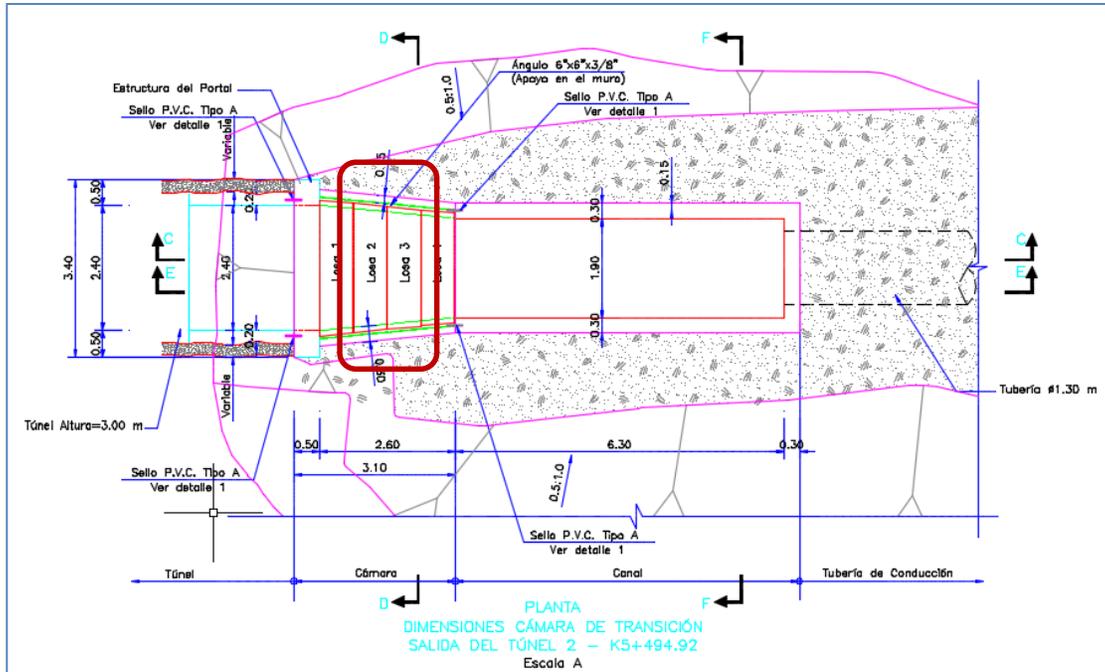


Figura 15. Planta de losas afectadas con la presurización de túnel 2

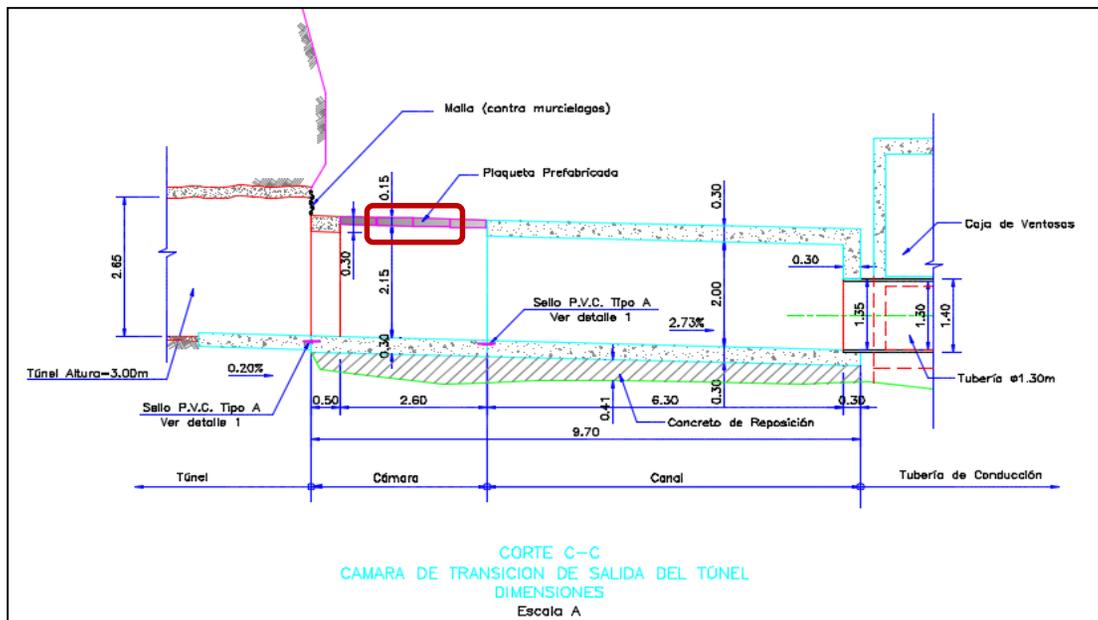


Figura 16. Perfil de losas afectadas con la presurización del túnel 2

Para estas pruebas no se obtuvieron registros de caudales, presiones, tiempo, y ningún otro parámetro. El resultado de las actividades solo se pudo evidenciar con el levantamiento de las tapas del portal de salida del túnel 2 y el respectivo rebose de agua; y en el siguiente numeral se mostrará la modelación que simulará las condiciones en que se realizó la prueba.

4.2.Simulación de las Pruebas

Toda la simulación hidráulica de la prueba se trabajó el programa EPANET, puesto que los túneles a pesar de estar diseñados para trabajar como estructuras con flujo libre durante el evento se presurizaron, y trabajaron en cierta forma como una tubería presurizada.

La simulación hidráulica se realizó de acuerdo con los siguientes pasos:

1. En los diseños iniciales⁵ se encontró los cuadros de resultado de una modelación en EPANET y HEC-RAS, que representaban cada uno de los elementos del sistema, con los siguientes parámetros:

- ✓ Abscisa
- ✓ Nombre
- ✓ Coordenada Norte
- ✓ Coordenada Este
- ✓ Cota

Al revisar la información, hubo la necesidad de ajustar las cotas de los nodos de los túneles, puesto que estaban referenciados con la cota de la solera, a diferencia de las cotas de las tuberías que estaban relacionadas con las cotas clave. La información de los diseños se utilizó como insumo, en la modelación del sistema presurizado de los túneles en programa EPANET.

⁵ Gómez Cajiao Ingenieros Consultores (2004). *Tomo 7 Informe 814-071-158 Alternativas Conducción*. En: Informe Principal Proyecto Río Ranchería - Estudios y Diseños. Bogotá Colombia.

2. Para diferenciar los nodos que hacen parte de las tuberías y los túneles se introdujeron los siguientes prefijos

Prefijo	Sector
CO - XXX	Tubería Conducción.
TU1 - XXX	Tramo 1 de tubería
TU2 - XXX	Tramo 1 de tubería

Tabla No. 4 Código de nodos

En total se introdujeron al programa, 298 nodos y un reservorio de agua en el inicio de la conducción.

3. La geometría de los túneles en los diseños se presenta como herradura, puesto que están previstos para trabajar a flujo libre. Para la modelación del sistema presurizado se asumió los túneles como tubería, por lo cual, al registrar los datos en el programa EPANET se modificó la geometría con el área equivalente a una figura circular. El procedimiento del cálculo de la geometría equivalente se presenta a continuación:

- ✓ El área de la sección de los túneles se calculó en AutoCad, partiendo de la siguiente figura. Área sección túnel: 6.579 m².

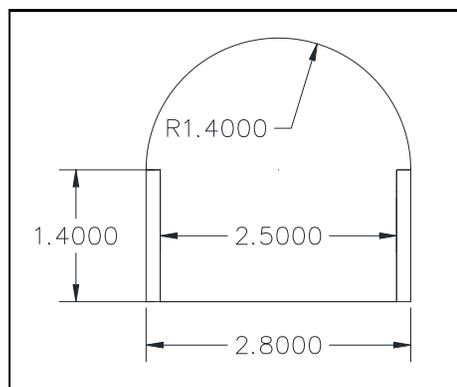


Figura 17. Sección de túneles

- ✓ Con el Área de la sección del túnel calculada, se calculó el diámetro equivalente para una sección circular que simularía en EPANET una tubería. Diámetro equivalente: 2.89 m
- ✓ De los diseños también se obtuvo los siguientes datos que se ingresaron al modelo.

Viscosidad cinemática (N m ² /s)	1.14E-06
Rugosidad absoluta (k) tubería en CCP (mm)	0.12
Elevación embalse 1 (m)	352
n de manning	0.014
Caudal de diseño (m ³ /s)	2.5

- Una vez introducido los datos en el programa se corrió el modelo, y se obtuvieron los siguientes gráficos.

- ✓ Análisis de sistema totalmente presurizado.

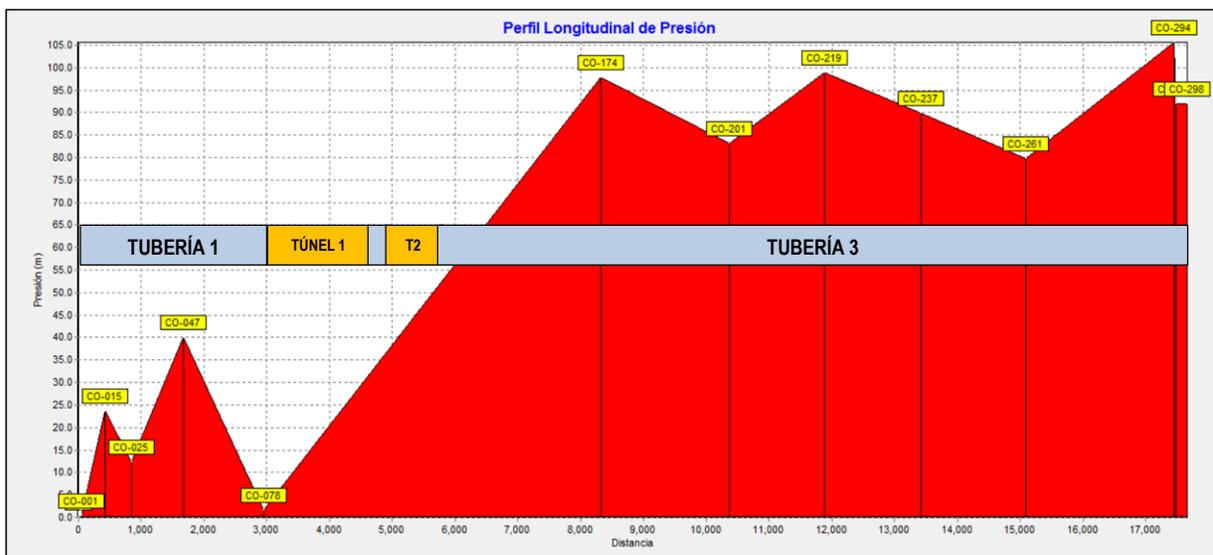


Figura 18. Gráfico de presiones de la conducción San Juan

Los nodos utilizados para el análisis corresponden a los puntos de cambio de pendiente de la conducción y los valores de las presiones en cada punto se obtienen de la tabla de resultado del programa.

Nodo	Cota piezométrica m	Presión m
CO-001	352.00	0.35
CO-015	351.15	23.73
CO-025	350.39	12.43
CO-047	348.87	40.03
CO-078	346.57	1.59
CO-174	339.71	97.75
CO-201	335.96	83.21
CO-237	330.57	89.73
CO-261	327.56	79.80
CO-294	323.33	105.61
CO-295	323.26	91.95
CO-298	322.94	91.99

Tabla No. 5 Resumen de presiones

En la gráfica y la tabla anterior se puede apreciar que el sistema estuvo presurizado durante la prueba realizada en el año 2012, presentando al final de la conducción una presión equivalente a 91,99 m.c.a.

Durante las pruebas hidrostáticas de entrega por parte del constructor, los tramos de tubería fueron sometidos a presiones superiores con comportamiento aceptable, dado que la tubería se presurizó sin problemas a 203 psi (161,72 m.c.a) y la presión de diseño es de 180 psi (126,56 m.c.a).

✓ Análisis del sistema presurizado en los túneles.

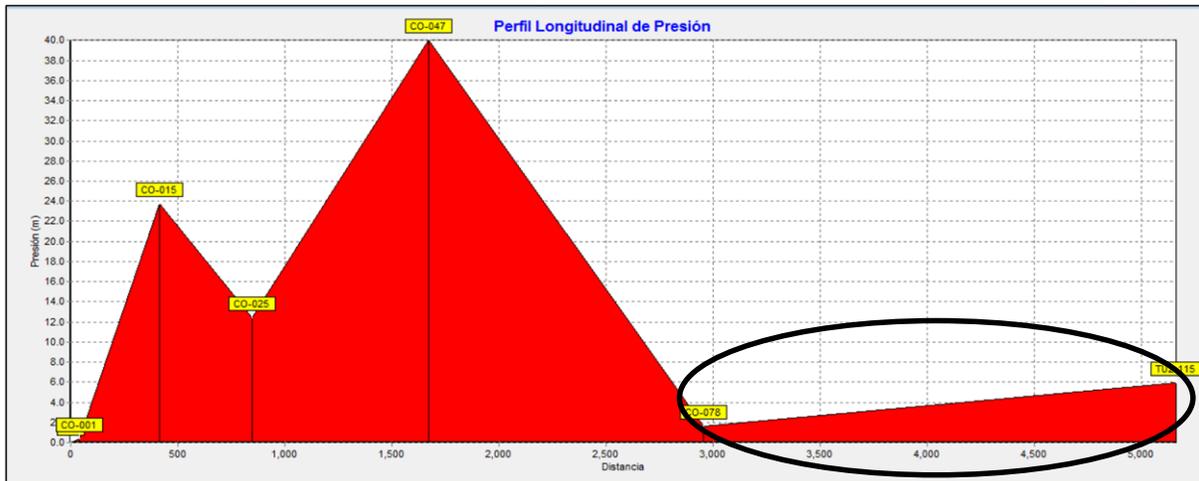


Figura 19. Presiones desde el inicio de la conducción hasta el portal de salida túnel 2.

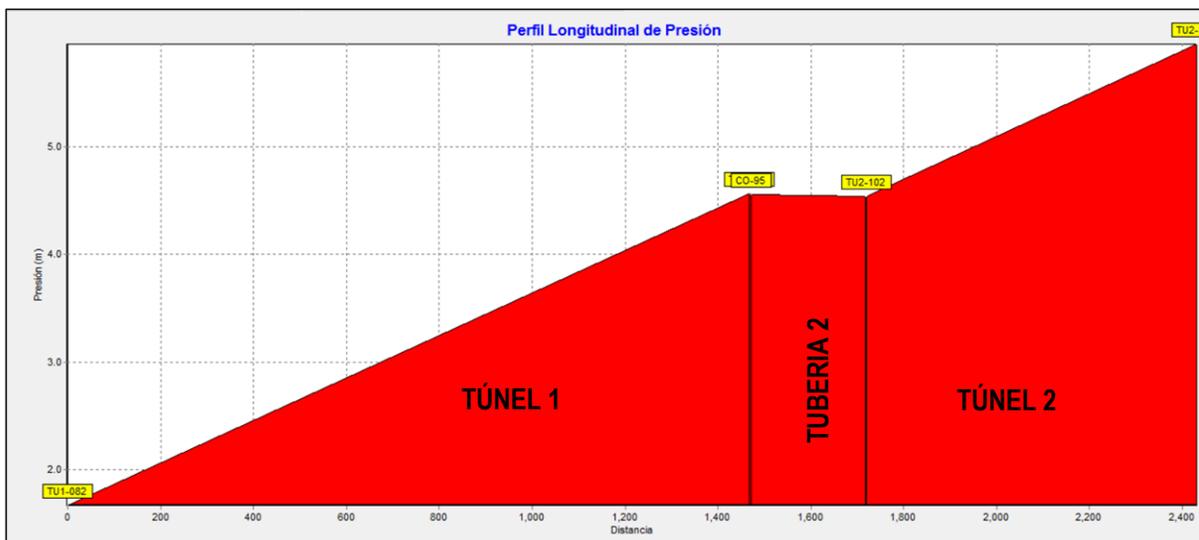


Figura 20. Análisis de presurización en los túneles

Los nodos utilizados para el análisis corresponden a los puntos de entrada y salida de los túneles y los valores de las presiones en cada punto se obtienen de la tabla de resultados del programa.

ID Nodo	Cota piezométrica m	Presión m	Observaciones
TU1-082	346.45	1.67	Portal entrada túnel 1
TU1-094	346.40	4.56	Portal salida túnel 1
TU2-102	345.82	4.55	Portal entrada túnel 2
TU2-115	345.80	5.96	Portal salida túnel 2

Tabla No. 6 Resultados de modelación tuéneles

Al realizar la simulación se puede apreciar que el nodo TU2-115 corresponde a la salida del túnel 2, con una presión de 5,96 m.c.a. la cual es suficiente para ocasionar el levantamiento de las losas 2 y 3 del portal salida del túnel.

Por otra parte, también se puede apreciar las presiones a las que estuvo sometido cada túnel durante las pruebas, situación para la cual no están diseñados dado que deben trabajar a flujo libre.

Dado que no se tienen registros de mediciones de las pruebas realizadas en el año 2012, la información presente en este modelo sirve para tener un orden de magnitud de las actividades realizadas en esa fecha.

5. Alternativas de Soluciones

Una vez identificado los problemas de estabilidad que se pueden presentar en las paredes de los túneles por la presurización de la conducción San Juan en estos tramos, se presentan las siguientes alternativas de solución (ver anexo 3. CD con modelos digitales):

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 al detalle cada una de ellas.

5.1. 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 4.000 psi y estos elementos son el 56,0% del total de 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 solo es evitar la caída de pequeños fragmentos de roca.

La solución que se plantea es hacer un refuerzo estructural de los túneles mediante la colocación de concreto hidráulico de 4.000 psi en las partes que se 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 presenta la sección actual y la propuesta en esta alternativa.

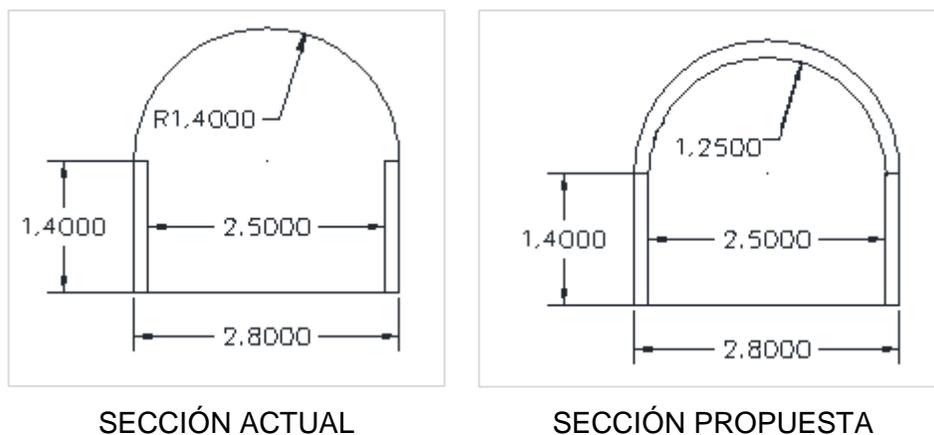


Figura 21. Alternativa de recubrimiento de sección de túneles

Esta alternativa se modeló en el programa EPANET utilizando un área equivalente de $5,95 \text{ m}^2$, que es el área que corresponde a la sección propuesta. En el modelo se hace analogía a una tubería de 2752.4126 mm de diámetro y una rugosidad de 0.012

En el modelo inicial se cambian diámetros y rugosidades a tramo entre los nodos 82 a 94 y al tramo entre los nodos 102 a 115; y ya que se tiene una contracción por cambio de diámetro de 2.752 m a 1.3 m , según los coeficientes de Weisbach, se tiene un $k = 0.3$ para el cálculo de pérdida localizada, por lo tanto, en los nodos "95" y "116" se aplica este coeficiente.

A continuación, los resultados de la modelación:

ID Nodo	altura (m)	presión (m)
conexión co-99	346.01	4.55
conexión tu1-082	346.45	1.67
conexión tu1-083	346.41	3.52
conexión tu1-084	346.41	3.62
conexión tu1-085	346.41	3.72
conexión tu1-086	346.41	3.82
conexión tu1-087	346.40	3.92
conexión tu1-088	346.40	4.01
conexión tu1-089	346.40	4.11
conexión tu1-090	346.40	4.21
conexión tu1-091	346.40	4.31

ID Nodo	altura (m)	presión (m)
conexión tu1-092	346.39	4.40
conexión tu1-093	346.39	4.50
conexión tu1-094	346.39	4.55
conexión tu2-102	345.84	4.57
conexión tu2-103	345.83	4.95
conexión tu2-104	345.83	4.96
conexión tu2-105	345.83	5.06
conexión tu2-106	345.83	5.16
conexión tu2-107	345.83	5.25
conexión tu2-108	345.83	5.35
conexión tu2-109	345.82	5.45
conexión tu2-110	345.82	5.55
conexión tu2-111	345.82	5.64
conexión tu2-112	345.82	5.74
conexión tu2-113	345.82	5.84
conexión tu2-114	345.81	5.94
conexión tu2-115	345.81	5.97
conexión co-294	323.47	105.76

Tabla No. 7 Resumen de modelación alternativa 1. Recubrimiento de túneles

No se presentan presiones negativas, la máxima es de 105.76m en el nodo “co-294”.

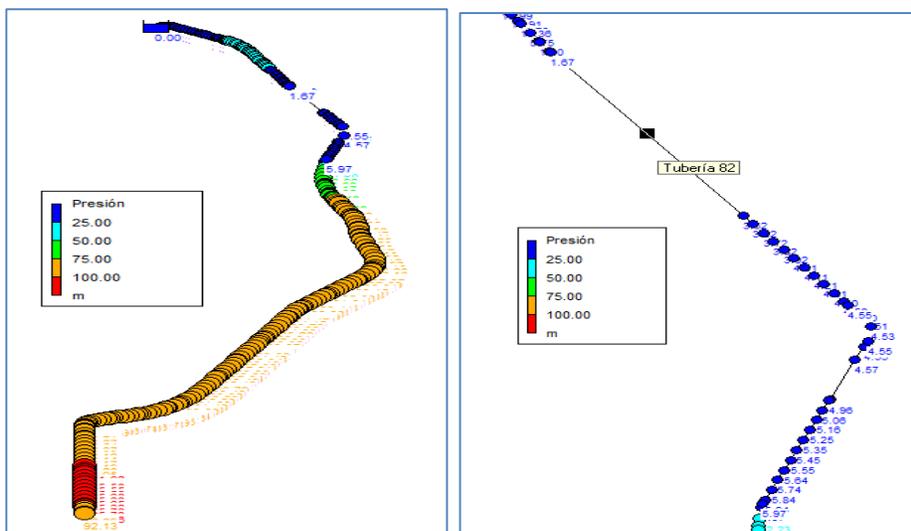


Figura 22 Planta de presiones de alternativa 1. Recubrimiento de túneles

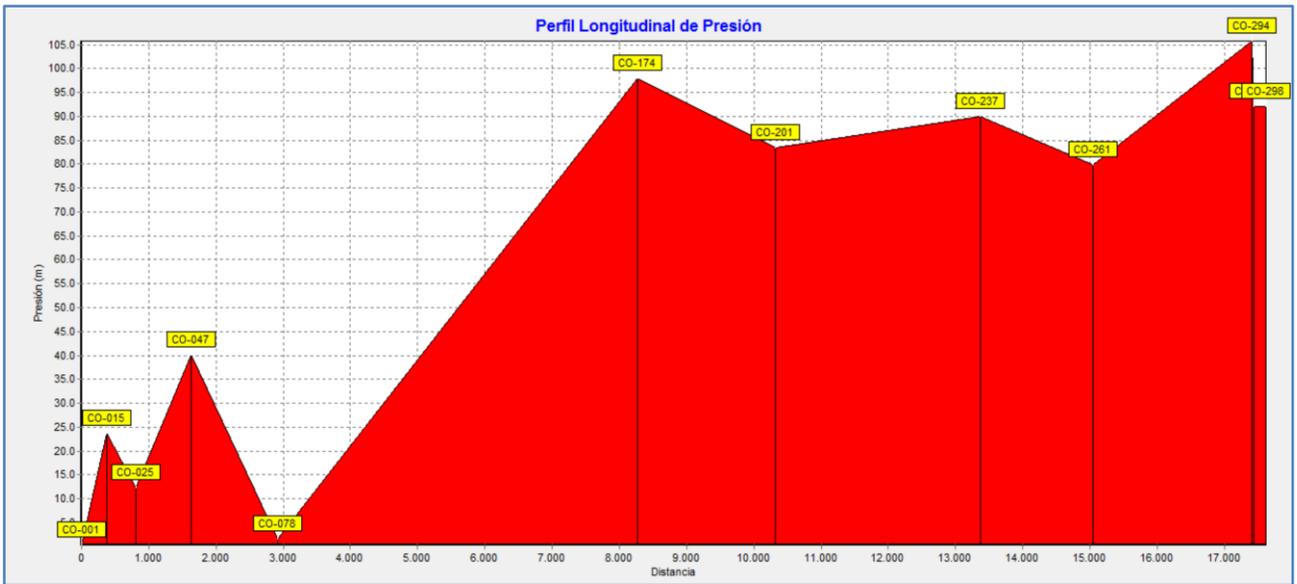


Figura 23 Perfil longitudinal de presiones de alternativa 1. Recubrimiento de túneles

La presión máxima del sistema se presenta en el nodo “co-294” y tiene un valor de 105.76 m que equivale a 150,40 psi. Para este tramo se encuentra bajo la condición de diseño de 180 psi. Los túneles de la conducción, en el modelo no presentan problemas de presiones, dado que presentan presiones que varían de 1.67 a 5.97 (nodo “tu1 – 082” y “tu2 – 115” respectivamente) que se espera sean superadas con el revestimiento.

5.2. Alternativa 2 – Instalación de Tubería

A fin de dar solución al 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 los mismos, 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 mm y 1300 mm, teniendo en cuenta la facilidad de instalación y los diferentes procesos constructivos.

5.2.1. modelo 1 – tubería grp de 800 mm, rugosidad de 0.009

Antes del inicio de cada túnel se tiene una contracción por cambio de diámetro de 1.3 m a 0.8 m; según los coeficientes de Weisbach, se tiene un $k = 0.3$ para el cálculo de pérdida localizada, por lo tanto, en la tubería los nodos del modelo 81 y 101, se aplica este coeficiente.

A continuación, los resultados de la modelación:

ID Nodo	Altura (m)	Presión (m)
Conexión CO-117	311.57	-28.19
Conexión CO-116	311.58	-28.18
Conexión TU2-115	311.62	-28.15
Conexión TU2-114	311.90	-27.91
Conexión TU2-113	312.68	-27.23
Conexión TU2-112	313.46	-26.55
Conexión TU2-111	314.23	-25.88
Conexión TU2-110	315.01	-25.20
Conexión CO-118	311.55	-25.04
Conexión TU2-109	315.79	-24.53
Conexión TU2-108	316.56	-23.85
Conexión TU2-107	317.34	-23.18
Conexión TU2-106	318.12	-22.50
Conexión TU2-105	318.89	-21.83
Conexión TU2-104	319.67	-21.15
Conexión TU2-103	319.75	-21.08
Conexión CO-95	323.33	-18.47
Conexión CO-96	323.30	-18.46
Conexión CO-97	323.21	-18.45
Conexión TU2-102	322.78	-18.45
Conexión CO-98	323.12	-18.44
Conexión TU1-094	323.36	-18.43

ID Nodo	Altura (m)	Presión (m)
Conexión CO-99	323.00	-18.42
Conexión CO-100	322.95	-18.41
Conexión CO-101	322.84	-18.39
Conexión TU1-093	323.69	-18.16
Conexión TU1-092	324.47	-17.48
Conexión TU1-091	325.25	-16.79
Conexión TU1-090	326.04	-16.11
Conexión TU1-089	326.82	-15.43
Conexión TU1-088	327.60	-14.75
Conexión TU1-087	328.38	-14.07
Conexión TU1-086	329.17	-13.39
Conexión TU1-085	329.95	-12.70
Conexión TU1-084	330.73	-12.02
Conexión TU1-083	331.52	-11.34
Conexión CO-119	311.46	-1.87

Tabla No. 8 Resumen de modelación alternativa 2. Tubería GRP de 800 mm

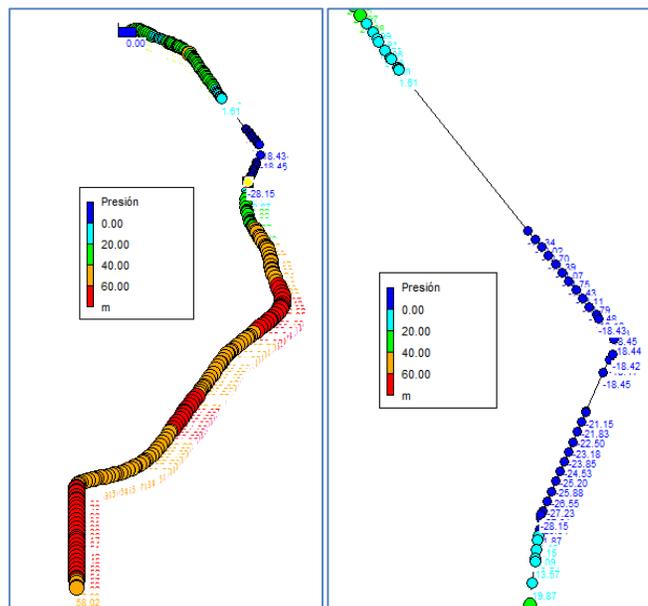


Figura 24 Planta de presiones de alternativa 2. Tubería GRP de 800 mm

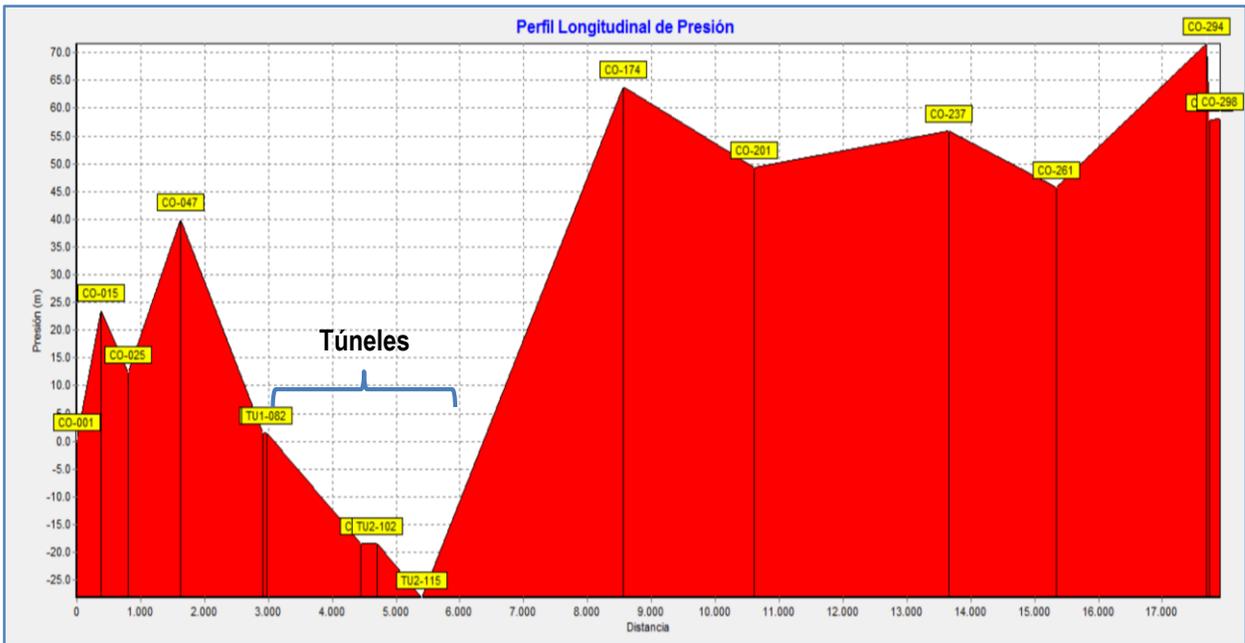


Figura 25 Perfil longitudinal de presiones de alternativa 2. Tubería GRP de 800 mm.

En el modelo se presentan presiones negativas desde del inicio de los túneles; debido a la disminución de sección, que pasa de 1300 mm 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.

La velocidad en la tubería de 800 mm es de 4.97 m/s y en la de 1.300 mm es de 1.88 m/s.

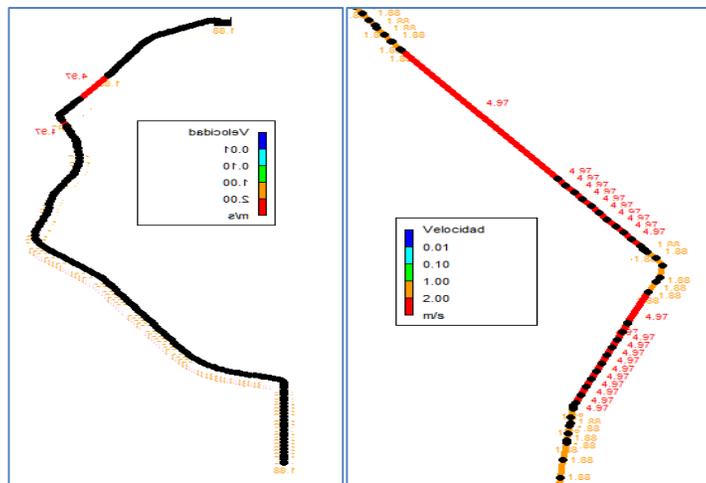


Figura 26 Planta de velocidades de alternativa 2. Tubería GRP de 800 mm

ID Línea	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Pérd. Unit. (m/km)	Factor de Fricción
Tubería 90	49.92	800	4.97	15.69	0.010
Tubería 91	499.18	800	4.97	15.69	0.010
Tubería 207	10.00	1300	1.88	1.75	0.013
Tubería 206	100.00	1300	1.88	1.75	0.013

Tabla No. 9 Resumen de velocidad en la conducción. Alternativa 2 - Tubería GRP de 800 mm

La velocidad en los tramos donde se instalará la tubería de 800 mm, es superior en comparación a la velocidad de diseño de 2.0 m/s. Con la velocidad de 4,97 m/s, posiblemente se presentará problemas de vibración, que requerirán anclajes o soportes de gran tamaño.

5.2.2. modelo 2 – tubería ccp de 800 mm rugosidad de 0.012

Antes del inicio de cada túnel se tiene una contracción por cambio de diámetro de 1.3 m a 0.8 m; según los coeficientes de weisbach, se tiene un $k = 0.3$ para el cálculo de pérdida localizada, por lo tanto, en la tubería los nodos del modelo 81 y 101, se aplica este coeficiente.

A continuación, los resultados de la modelación:

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Conexión CO-117	299.86	-39.87
Conexión CO-116	299.87	-39.87
Conexión TU2-115	299.92	-39.83
Conexión TU2-114	300.30	-39.48
Conexión TU2-113	301.34	-38.54
Conexión TU2-112	302.39	-37.60
Conexión CO-118	299.84	-36.73
Conexión TU2-111	303.43	-36.66
Conexión TU2-110	304.47	-35.72
Conexión TU2-109	305.51	-34.78
Conexión TU2-108	306.56	-33.84

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Conexión TU2-107	307.60	-32.90
Conexión TU2-106	308.64	-31.96
Conexión TU2-105	309.68	-31.02
Conexión TU2-104	310.73	-30.08
Conexión TU2-103	310.83	-29.98
Conexión CO-95	315.44	-26.34
Conexión CO-96	315.41	-26.33
Conexión CO-97	315.32	-26.32
Conexión TU2-102	314.89	-26.32
Conexión CO-98	315.24	-26.31
Conexión TU1-094	315.49	-26.29
Conexión CO-99	315.11	-26.29
Conexión CO-100	315.06	-26.28
Conexión CO-101	314.95	-26.26
Conexión TU1-093	315.93	-25.90
Conexión TU1-092	316.98	-24.95
Conexión TU1-091	318.03	-24.01
Conexión TU1-090	319.08	-23.06
Conexión TU1-089	320.13	-22.11
Conexión TU1-088	321.18	-21.16
Conexión TU1-087	322.23	-20.21
Conexión TU1-086	323.28	-19.26
Conexión TU1-085	324.33	-18.31
Conexión TU1-084	325.38	-17.36
Conexión TU1-083	326.43	-16.41
Conexión CO-119	299.75	-13.56
Conexión CO-120	299.68	-5.23
Conexión CO-121	299.65	-4.53
Conexión CO-122	299.57	-2.60

Tabla No. 10 Resumen de modelación alternativa 2. Tubería CCP de 800 mm

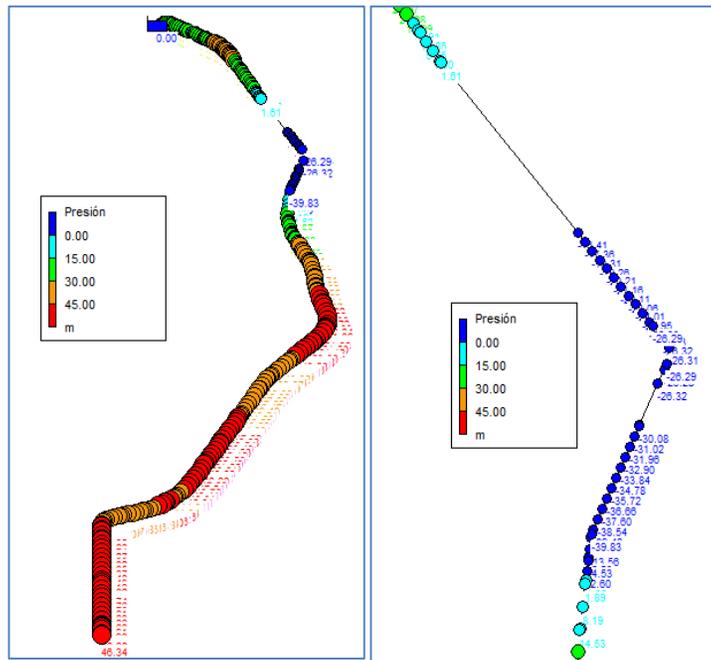


Figura 27 Planta de presiones de alternativa 2. Tubería CCP de 800 mm

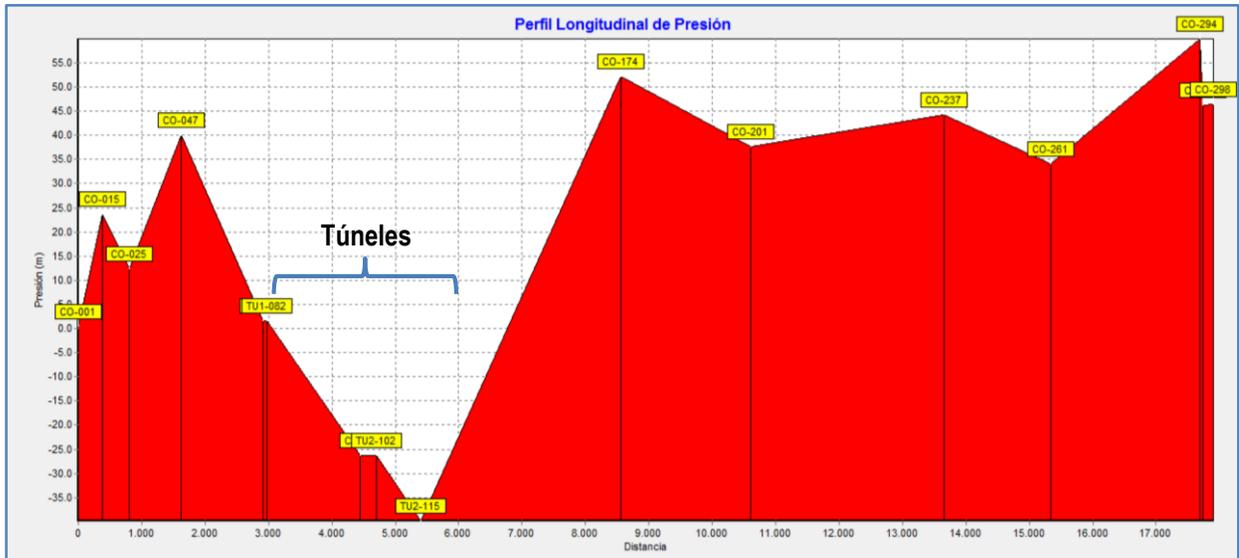


Figura 28 Perfil longitudinal de presiones de alternativa 2. Tubería CCP de 800 mm.

En el modelo se presentan presiones negativas desde del inicio de los túneles; debido a la disminución de sección, que pasa de 1300 mm 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 mas rugoso que el GRP.

La velocidad en la tubería de 800 mm es de 4.97 m/s y en la de 1.300 mm es de 1.88 m/s.

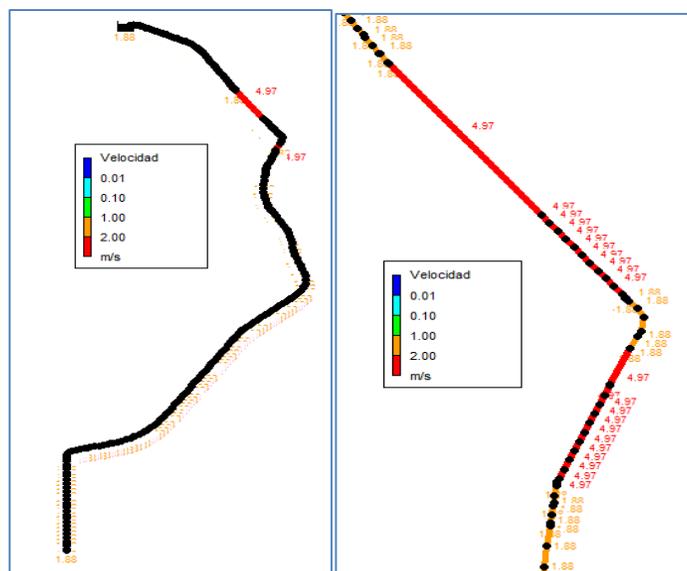


Figura 29 Planta de velocidades de alternativa 2. Tubería CCP de 800 mm

ID Línea	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Pérd. Unit. (m/km)	Factor de Fricción	Veloc. de Reacción (mg/L/d)
Tubería 89	499.8	800	4.97	21.05	0.013	0.00
Tubería 90	49.92	800	4.97	21.05	0.013	0.00
Tubería 91	499.18	800	4.97	21.05	0.013	0.00
Tubería 207	10.00	1300	1.88	1.75	0.013	0.00
Tubería 206	100.00	1300	1.88	1.75	0.013	0.00
Tubería 205	100.00	1300	1.88	1.75	0.013	0.00

Tabla No. 11 Resumen de velocidad en la conducción. Alternativa 2 - Tubería CCP de 800 mm

La velocidad en los tramos donde se instalará la tubería de 800 mm, es superior en comparación a la velocidad de diseño de 2.0 m/s. Con la velocidad de 4,97 m/s, posiblemente se presentará problemas de vibración, que requerirán anclajes o soportes de gran tamaño

5.2.3. modelo 3 – tubería grp de 1.300 mm rugosidad de 0.009

A continuación, los resultados de la modelación:

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Conexión CO-99	344.00	2.54
Conexión TU1-082	346.45	1.67
Conexión TU1-083	345.08	2.20
Conexión TU1-084	345.01	2.23
Conexión TU1-085	344.94	2.25
Conexión TU1-086	344.87	2.28
Conexión TU1-087	344.79	2.31
Conexión TU1-088	344.72	2.34
Conexión TU1-089	344.65	2.37
Conexión TU1-090	344.58	2.39
Conexión TU1-091	344.51	2.42
Conexión TU1-092	344.44	2.45
Conexión TU1-093	344.36	2.48
Conexión TU1-094	344.33	2.50
Conexión TU2-102	343.84	2.57
Conexión TU2-103	343.56	2.68
Conexión TU2-104	343.55	2.68
Conexión TU2-105	343.48	2.71
Conexión TU2-106	343.41	2.74
Conexión TU2-107	343.34	2.77
Conexión TU2-108	343.26	2.80
Conexión TU2-109	343.19	2.82
Conexión TU2-110	343.12	2.85
Conexión TU2-111	343.05	2.88
Conexión TU2-112	342.98	2.91
Conexión TU2-113	342.91	2.94
Conexión TU2-114	342.84	2.97
Conexión TU2-115	342.81	2.98
Conexión CO-294	320.52	102.81

Tabla No. 12 Resumen de modelación alternativa 2. Tubería GRP de 1300 mm

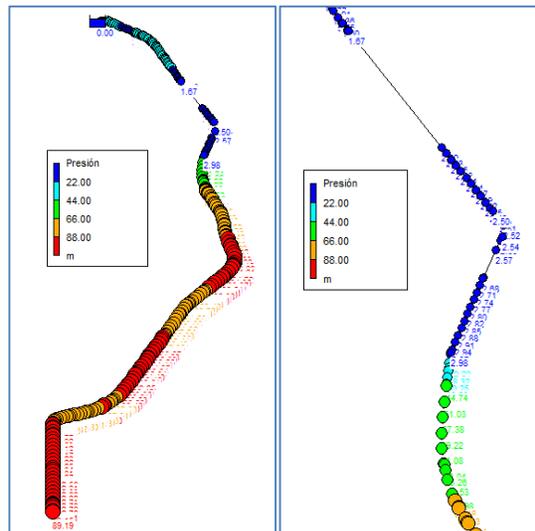


Figura 30 Planta de presiones de alternativa 2. Tubería GRP de 1300 mm

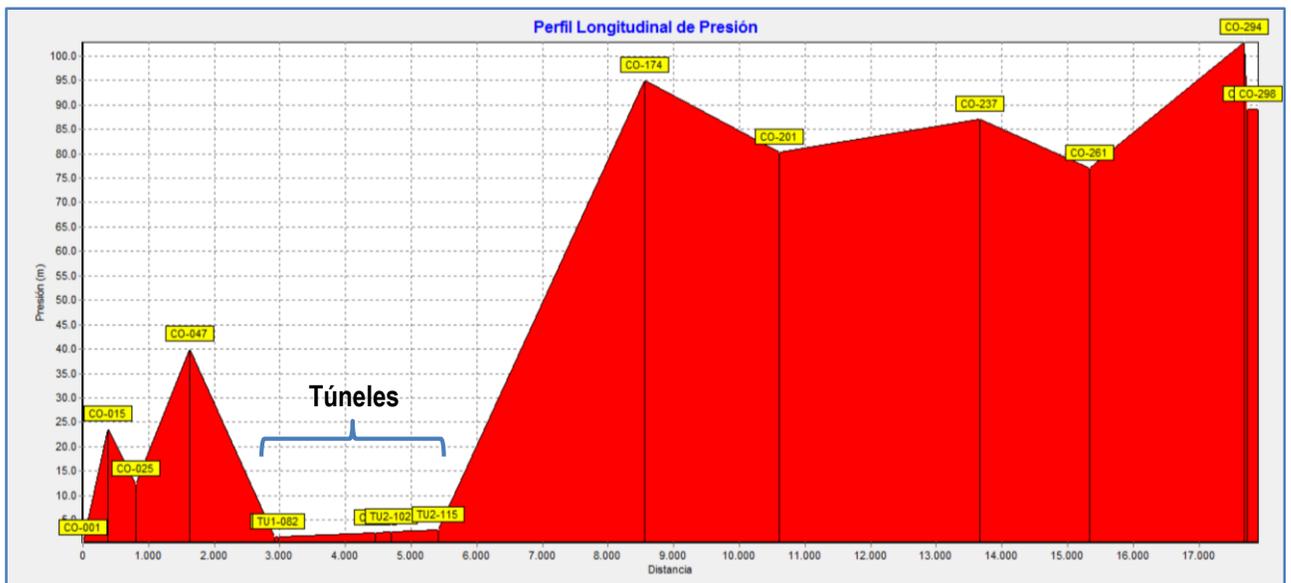


Figura 31 Perfil longitudinal de presiones de alternativa 2. Tubería GRP de 1300 mm.

El modelo no presenta presiones negativas, y el valor mínimo es de 1.67 m en el nodo “TU1-082”, que corresponde al portal de entrada del túnel 1. La presión máxima del sistema se presenta en el nodo “CO-294” y tiene un valor de 102.81 m que equivale a 146,23 psi. Para este tramo se encuentra bajo la condición de diseño de 180 psi.

La velocidad en toda del sistema es de 1.88 m/s que es menor a 2.0 m/s del diseño, se considera aceptable.

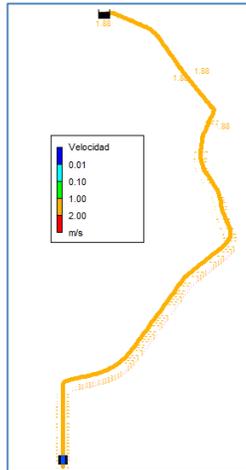


Figura 32 Planta de velocidades de alternativa 2. Tubería GRP de 1300 mm

5.2.4. modelo 4 – tubería ccp de 1.300 mm rugosidad de 0.012

A continuación, los resultados de la modelación:

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Conexión CO-99	343.54	2.08
Conexión TU1-082	346.45	1.67
Conexión TU1-083	344.79	1.90
Conexión TU1-084	344.70	1.91
Conexión TU1-085	344.61	1.93
Conexión TU1-086	344.52	1.94
Conexión TU1-087	344.44	1.95
Conexión TU1-088	344.35	1.96
Conexión TU1-089	344.26	1.98
Conexión TU1-090	344.17	1.99
Conexión TU1-091	344.09	2.00
Conexión TU1-092	344.00	2.01
Conexión TU1-093	343.91	2.03
Conexión TU1-094	343.87	2.04
Conexión TU2-102	343.38	2.11

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Conexión TU2-103	343.04	2.16
Conexión TU2-104	343.03	2.16
Conexión TU2-105	342.94	2.17
Conexión TU2-106	342.85	2.19
Conexión TU2-107	342.77	2.20
Conexión TU2-108	342.68	2.21
Conexión TU2-109	342.59	2.23
Conexión TU2-110	342.51	2.24
Conexión TU2-111	342.42	2.25
Conexión TU2-112	342.33	2.27
Conexión TU2-113	342.25	2.28
Conexión TU2-114	342.16	2.29
Conexión TU2-115	342.13	2.30
Conexión CO-294	319.84	102.13

Tabla No. 13 Resumen de modelación alternativa 2. Tubería CCP de 1300 mm

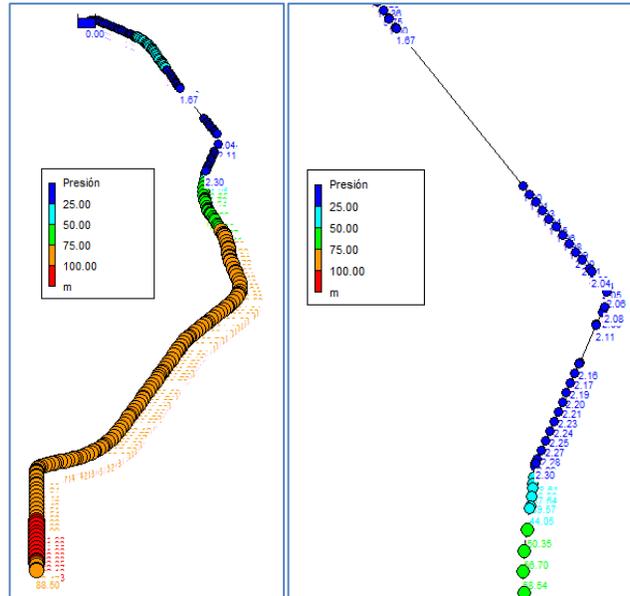


Figura 33 Planta de presiones de alternativa 2. Tubería CCP de 1300 mm

5.3. Alternativa 3 – Construcción de Vertederos de Excesos en Portales de Salida de Cada Túnel.

A fin de dar solución al problema de estabilidad de los túneles de la conducción San Juan, se plantea dar una apertura a los portales entrada y salida de cada túnel, que permita el rebose de agua y evite la presurización del sistema en estos tramos.

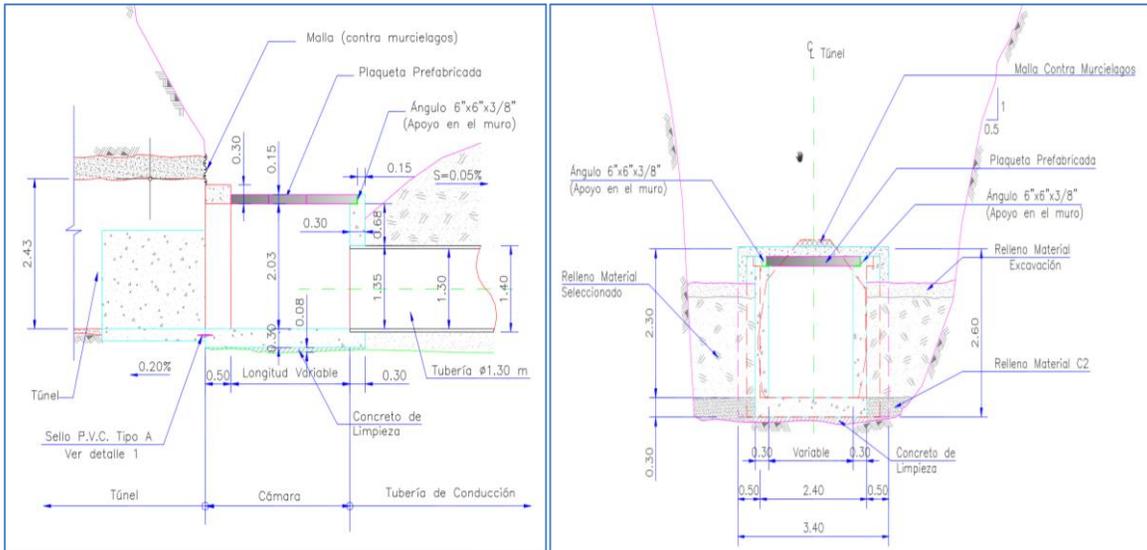


Figura 36 Perfil y sección transversal de portales de entrada y salida de túneles

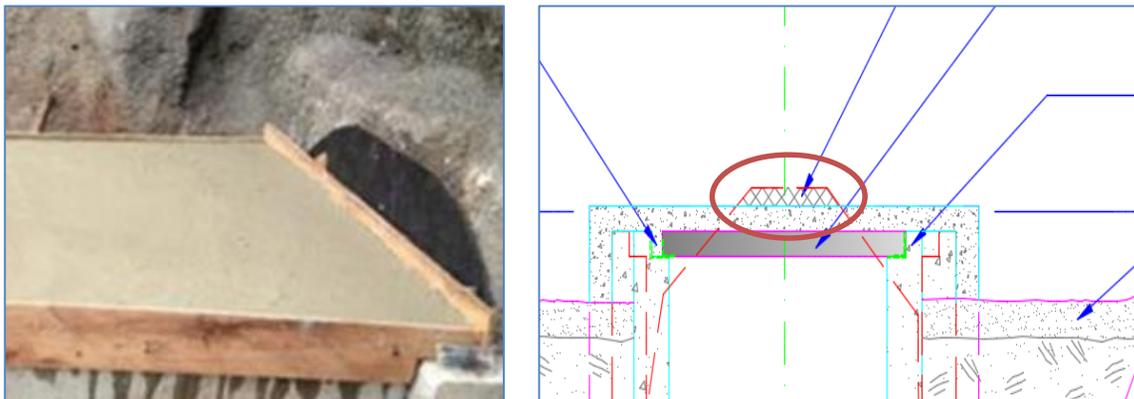


Figura 37 Portales entrada y salida, malla contra murciélagos

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, que evita 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 que la intervención realizada a los túneles es mínima en comparación con las otras obras propuestas, pero al dejar las estructuras 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 trabajo.

6. 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 pueden generarse problemas de estabilidad de los túneles y se requiere de un análisis detallado del macizo rocoso. La roca presente en la zona se encuentra diaclasada y para aplicar esta alternativa es necesario un estudio geológico.
- ✓ relación con la instalación de tubería, se tuvo en cuenta cuatro (4) tipos de 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 superior a 2.0 m/s que son superiores a los requerimientos de diseño. Una vez analizado estas alternativas, no se considera viable técnicamente.
 - Las tuberías de 1.300 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 anti murciélagos, lo cual dejaría los túneles expuestos al ingreso de animales. Ambientalmente, esta alternativa no es viable, dado que se compromete la calidad de agua.
- ✓ Se debe analizar los costos de instalación de las tuberías de GRP y CCP de 1300 mm, dado que pueden ser un factor determinante al momento de tomar la decisión de construcción. El presente trabajo es con fin académico y solo incluye el análisis técnico hidráulico y no analiza el valor de las obras.

Como resultado 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 esta 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.

7. Bibliografía

- ✓ Consorcio Desarrollo Guajira (2011). "Capítulo 6 Túneles". En: Informe Final de Interventoría CDG-055-IFI-01-2011-01. Bogotá Colombia.
- ✓ Consorcio TC – TYPESA (2012). Informe de Prueba Hidrostática Conducción San Juan; Bogotá Colombia.
- ✓ Gómez Cajiao Ingenieros Consultores. Tomo 7 Informe 814-071-158 Alternativas Conducción. En: Informe Principal Proyecto Río Ranchería - Estudios y Diseños. Bogotá Colombia. Noviembre de 2004
- ✓ Gómez Cajiao Ingenieros Consultores (2004). "Tomo 4 VOLUMEN VI Informe GC-814-129-089 Geología de las Conducciones a los Distritos de Riego Ranchería y San Juan del Cesar". En: Informe Principal Proyecto Río Ranchería - Estudios y Diseños. Bogotá Colombia.
- ✓ Irving H. Shames (1995). Mecánica de Fluidos. Edición 3. McGRAW – HILL. Bogotá Colombia
- ✓ José Luis de Paco López-Sánchez (1993). Fundamentos de Calculo Hidráulico en los Sistemas de Riego y Drenaje". Madrid, España. S.A. Mundi-Prensa Libros.
- ✓ Ven Te Chow (2004). Hidráulica de Canales Abiertos. Bogotá Colombia McGRAW – HILL, Bogotá Colombia
- ✓ Unión Temporal Guajira (2010). Informe de Pruebas Hidrostáticas de Conducción San Juan. San Juan del Cesar – La Guajira.
- ✓ Unión Temporal Guajira (2010). Planos As- Built, San Juan del Cesar – La Guajira.
- ✓ Wikipedia. Clasificación geomecánica de Bienawski o RMR. Mayo 15, 2015 [acceso 13 de Dic. de 15].
https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_geomec%C3%A1nica_de_Bienawski_o_RMR#Definici.C3.B3n

8. Anexos

ANEXO 1

Conducción San Juan – Planta Perfil

ANEXO 2

Conducción San Juan – Esquema de Presiones

ANEXO 3

CD con modelos digitales