

CONTENIDO:

INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO



ENTIDAD:

EMPRESAS PÚBLICAS DE RISARALDA S.A. E.S.P

PROYECTO:

**OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE
BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA
TEMPORADA INVERNAL**

MARZO 2026

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	
---	--	---

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	7
2	LOCALIZACIÓN	8
3	MARCO NORMATIVO	9
4	ALCANCE	9
4.1	SECTOR COMINAL 1	9
4.2	SECTOR COMINAL 2	10
4.3	SECTOR MONTBLANC 1	11
4.4	SECTOR MONTBLANC 2	11
5	PLANTEAMIENTO, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	12
5.1	PLANTEAMIENTO	12
5.2	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	12
5.3	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	14
5.3.1	Sostenibilidad Económica	14
5.3.2	Sostenibilidad Técnica	14
5.3.3	Sostenibilidad Ambiental.....	15
5.3.4	Gestión de Riesgos.....	15
5.3.5	Sostenibilidad Social	16
5.3.6	Conclusión	16
6	DISEÑO RED DE ACUEDUCTO	17
6.1	SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE LA ACUEDUCTO.....	17
6.1.1	Funcionamiento de EPANET	17
6.1.2	Modelación de Componentes	18
6.2	PÁRAMETROS DE DISEÑO	18
6.2.1	Cálculo de las pérdidas por fricción	19
6.2.2	Cálculo de las pérdidas menores	19
6.3	TOPOLOGÍA	20
6.4	ASIGNACIÓN DE DEMANDAS	24
6.5	CAPACIDAD HIDRÁULICA.....	24

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	
---	--	--

6.6	VELOCIDAD.....	28
6.7	PRESIONES.....	30
6.8	SELECCIÓN DE TUBERÍAS	34
6.9	SELECCIÓN DE VÁLVULAS VENTOSAS	38
6.9.1	Vaciado de tuberías	38
6.9.2	Llenado de tuberías	39
6.10	CAJAS DE VÁLVULAS	41
6.11	DEFLEXIONES	41
6.12	ANCLAJES.....	42
6.12.1	Cálculo de anclajes.....	42
6.12.2	Localización y dimensiones de anclajes	43
6.13	PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA.....	44
6.14	ANCHOS DE EXCAVACIÓN.....	45
6.15	CIMENTACIÓN DE LA TUBERÍA.....	45
7	BIBLIOGRAFÍA	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Localización general.	8
Figura 6.1 Perfil topográfico Cominal 1.	20
Figura 6.2 Perfil topográfico Cominal 2.	21
Figura 6.3 Perfil topográfico Montblanc 1.	21
Figura 6.4 Perfil topográfico Montblanc 2.	21
Figura 6.5 Contornos elevaciones Cominal 1 y Cominal 2.	22
Figura 6.6 Contornos elevaciones Montblanc 1.	23
Figura 6.7 Contornos elevaciones Montblanc 2.	24
Figura 6.8 Diámetros Cominal 1 y Cominal 2.	25
Figura 6.9 Diámetros Montblanc 1.	25
Figura 6.10 Diámetros Montblanc 2.	26
Figura 6.11 Pérdida de carga Cominal 1y Cominal 2.	26
Figura 6.12 Pérdida de carga Montblanc 1.	27
Figura 6.13 Pérdida de carga Montblanc 2.	28
Figura 6.14 Velocidad Cominal 1 y Cominal 2.	28
Figura 6.15 Velocidad Montblanc 1.	29
Figura 6.16 Velocidad Montblanc 2.	30
Figura 6.17 Presiones Cominal 1 y Cominal 2.	31
Figura 6.18 Presiones Montblanc 1.	32
Figura 6.19 Presiones Montblanc 2.	33
Figura 6.20 Perfil Hidráulico Cominal 1 y Cominal 2.	33
Figura 6.21 Perfil Hidráulico Montblanc 1.	34
Figura 6.22 Perfil Hidráulico Montblanc 2.	34
Figura 6.23 Curva característica evacuación de aire de válvulas ventosas.	39
Figura 6.24 Curva característica entrada de aire de válvulas ventosas.	40
Figura 6.25 Detalle de instalación de válvula ventosa.	41
Figura 6.26 Detalle anclaje de tubería en concreto.	44
Figura 6.27 Detalle de cimentación de tubería.	45

 Empresas Públicas de Risaralda	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1 Matriz Evaluación Final.	16
Tabla 6.1 Parámetros de diseño.	18
Tabla 6.2 Coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes	19
Tabla 6.3 Características de las tuberías PEAD.	35
Tabla 6.4 Información de tuberías (Cominal 1 y Cominal 2).	35
Tabla 6.5 Información de tuberías (Montblanc 1).....	35
Tabla 6.6 Información de tuberías (Montblanc 2).....	37
Tabla 6.7 Localización y dimensionamiento de válvulas ventosas.	40
Tabla 6.8 Radios mínimos de curvatura.	42
Tabla 6.9 Calculo de anclajes.	44

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al informe de diseño del sistema de aducción del acueducto del municipio de Balboa, Risaralda, elaborado con base en el diagnóstico técnico obtenido durante la visita de campo realizada al sistema existente. En dicha visita se evaluaron las condiciones operativas, estructurales y geotécnicas de los diferentes componentes, identificándose que el sistema de aducción presenta las principales deficiencias, asociadas a la obsolescencia de materiales, exposición de la infraestructura a condiciones de inestabilidad y recurrencia de fallas que afectan la continuidad del servicio.

Particularmente, la aducción existente, con una longitud aproximada de 23,85 km y conformada en gran medida por tuberías de asbesto cemento, evidencia un comportamiento inadecuado frente a las condiciones topográficas y geotécnicas del territorio, caracterizadas por altas pendientes y procesos activos de remoción en masa, lo que incrementa la vulnerabilidad del sistema y el riesgo de desabastecimiento.

En este contexto, el presente diseño plantea soluciones técnicas orientadas a la reposición y optimización de los tramos críticos, mediante la adopción de materiales y configuraciones que mejoren la resiliencia estructural e hidráulica del sistema. Los diseños propuestos se desarrollan en cumplimiento de los criterios y lineamientos establecidos en la Resolución 0330 de 2017, garantizando condiciones adecuadas de funcionalidad, seguridad y continuidad en la prestación del servicio de acueducto.

Es por lo anterior que, en el presente informe, se presenta el desarrollo detallado del diseño hidráulico de la red de acueducto proyectada para la zona.

2 LOCALIZACIÓN

El municipio de Balboa, ubicado en el occidente del departamento de Risaralda, República de Colombia, se sitúa sobre la vertiente occidental de la cordillera central de los Andes, formando parte del corredor geográfico y ecológico entre los departamentos de Risaralda y Chocó. Limita al norte con el municipio de Quinchía (Risaralda), al este con Pueblo Rico (Risaralda), al sur con el municipio de La Virginia (Risaralda) y al oeste con el departamento de Chocó, presentando un relieve marcadamente montañoso y cubierto predominantemente por bosques de alta y baja montaña.

Desde el punto de vista de redes de servicios públicos, Balboa se encuentra aproximadamente a 52 km de la capital departamental, Pereira, con acceso vial principal mediante la ruta que conecta con la ruta nacional 25 (Eje Cafetero–Pacífico). El casco urbano se asienta en un valle interandino de altitudes que oscilan entre 1.400 y 1.800 metros sobre el nivel del mar, mientras que las zonas rurales se extienden hacia pendientes superiores al 40%, lo que implica condiciones topográficas complejas para el diseño y operación de infraestructuras de aducción de agua cruda.

Desde el punto de vista administrativo y demográfico, el municipio cuenta con un ámbito municipal de aproximadamente 317 km², con un patrón de asentamiento disperso en zonas rurales de difícil acceso. El área urbana concentra un porcentaje menor de la población, lo que hace que la infraestructura de aducción de agua de las veredas dependa de redes de captación y conducciones de largo recorrido, atravesando sectores con escasa disponibilidad de servidumbres y vías terciarias no pavimentadas.

Figura 2.1 Localización general.



Fuente: Propia.

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

Según las proyecciones del DANE, para el año 2026, el municipio de Balboa, Risaralda, cuenta con una población estimada de 6,630 habitantes. De este total, aproximadamente el 53.1% son hombres (3,520) y el 46.9% son mujeres (3,110), representando un 0.66% de la población total del departamento.

3 MARCO NORMATIVO

El presente proyecto se realiza teniendo en cuenta las siguientes resoluciones:

- Título B - Acueducto, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2011.
- Resolución 330 de 2017, “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RASY se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”.
- Resolución 501 de 2017, “Por la cual se expiden los requisitos técnicos relacionados con composición química e información, que deben cumplir los tubos, ductos y accesorios de acueducto y alcantarillado, los de uso sanitario y los de aguas lluvias, que adquieran las personas prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado, así como las instalaciones hidrosanitarias al interior de las viviendas y se derogan las Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007”.
- Resolución 844 de 2019, “Por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del título 7, de la parte 3, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015”.
- Resolución 799 de 2021, “Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017”.

4 ALCANCE

4.1 SECTOR COMINAL 1

Para el sector Cominal 1, ubicado en la abscisa K4+650, se propone una intervención estructural definitiva que supere las soluciones provisionales actualmente implementadas.

En este punto, la tubería de aducción en asbesto cemento Ø8” se encuentra expuesta sobre el terreno natural, sin protección ni confinamiento adecuado, lo que la hace altamente vulnerable a la acción directa de la escorrentía superficial proveniente de las laderas adyacentes. Considerando que el sector presenta pendientes pronunciadas, superiores al 40%, los eventos de precipitación generan incrementos súbitos en la velocidad de escorrentía y procesos de erosión localizada que inducen esfuerzos de flexión y socavación en la aducción, provocando fracturas recurrentes y elevando el riesgo de interrupción del servicio. Además, las fugas generadas contribuyen a la saturación del talud, disminuyendo su resistencia al corte y aumentando la probabilidad de remoción en masa.

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

La intervención paliativa observada durante la visita, consistente en la reposición artesanal con tubería PVC de Ø8" sujeta mediante cables al terreno, no constituye una solución estructural ni reduce la vulnerabilidad del sistema frente a la amenaza identificada, dado que mantiene la conducción dentro de la zona inestable y sin independencia estructural respecto al talud.

En consecuencia, se recomienda la reposición del tramo afectado mediante tubería en PEAD de Ø8" en una longitud aproximada de 100 m, cuyas propiedades mecánicas permiten una mayor tolerancia a deformaciones y esfuerzos diferenciales del terreno, complementada con la construcción de un viaducto tipo cercha que eleve y soporte la tubería sobre apoyos estructuralmente estables. Esta solución permitirá independizar la línea de aducción del comportamiento geotécnico del talud, eliminar puntos de concentración de esfuerzos, reducir la probabilidad de roturas futuras y garantizar mayor resiliencia operativa del sistema. Desde este enfoque, la alternativa propuesta constituye una medida de mitigación estructural orientada a disminuir la exposición de la infraestructura crítica ante fenómenos de inestabilidad, asegurando la continuidad del servicio de acueducto.

4.2 SECTOR COMINAL 2

Para el sector Cominal 2, localizado en la abscisa K4+780, donde se evidenció la fractura de la tubería de asbesto cemento Ø8" con fuga directa de caudal sobre el terreno natural, se propone una intervención correctiva–preventiva orientada a eliminar la causa estructural de la falla y reducir el riesgo asociado a la inestabilidad del talud. La descarga permanente de agua producto de la rotura no solo genera pérdidas hidráulicas y disminución en la eficiencia del sistema, sino que incrementa la saturación del suelo en un sector con pendientes pronunciadas, reduciendo la resistencia al corte y elevando la probabilidad de un evento de remoción en masa que podría comprometer tanto la infraestructura de aducción como predios aledaños.

En consecuencia, se recomienda la reposición de aproximadamente 100 m de aducción mediante tubería en PEAD de Ø8", material que ofrece un comportamiento dúctil y mayor capacidad de deformación ante movimientos diferenciales del terreno, además de permitir uniones por termofusión que eliminan juntas mecánicas susceptibles a filtraciones y concentraciones de esfuerzo. Esta característica resulta fundamental en zonas con inestabilidad geotécnica, donde las tuberías rígidas como el asbesto cemento presentan alta probabilidad de fractura.

Adicionalmente, se propone la instalación de una válvula tipo ventosa, con el fin de permitir la expulsión controlada de aire acumulado durante la operación y el llenado de la línea. La presencia de bolsas de aire puede generar reducción de la sección hidráulica efectiva, pérdidas adicionales de carga y variaciones de presión que incrementan los esfuerzos internos en la tubería. La incorporación de la ventosa contribuirá a estabilizar el régimen hidráulico, mejorar la eficiencia operativa y disminuir la probabilidad de nuevas fallas asociadas a transientes hidráulicos. En conjunto, estas medidas no solo corrigen la afectación puntual identificada, sino que fortalecen la resiliencia estructural e hidráulica del sistema de aducción en este sector.

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

4.3 SECTOR MONTBLANC 1

Para el sector de Montblanc 1, se propone una solución de carácter integral y preventivo, que supere el enfoque de reparación puntual actualmente aplicado. Se recomienda la optimización del tramo comprendido entre la escuela de Patio Bonito (abscisa K17+380) y la abscisa K18+960, mediante la instalación de tubería PEAD Ø8" en una longitud de 1580 m.

A juicio personal, la necesidad de esta intervención se fundamenta en que la tubería actual se encuentra instalada sobre un talud natural con pendiente superior al 100%, condición que incrementa significativamente la susceptibilidad a procesos de remoción en masa, especialmente durante eventos de precipitación intensa que generan saturación del suelo y pérdida de resistencia al corte. La ubicación actual favorece la exposición directa de la aducción a deslizamientos superficiales, erosión regresiva y socavación, lo que ha derivado en daños recurrentes y fallas estructurales progresivas.

Desde el punto de vista geotécnico, mantener la infraestructura en una franja con inestabilidad activa implica una alta probabilidad de falla futura, incluso si se realizan reposiciones en el mismo alineamiento. En este contexto, continuar con intervenciones puntuales no reduce la amenaza, sino que perpetúa la vulnerabilidad del sistema.

Adicionalmente, las roturas registradas en este sector han generado afectaciones sobre la vía que conecta el casco urbano de Balboa con el sector de Patio Bonito, debido a la descarga incontrolada de agua y a la saturación del talud inferior, lo cual compromete no solo la continuidad del servicio de acueducto, sino también la estabilidad de la infraestructura vial y la seguridad de la población.

En consecuencia, se recomienda modificar el alineamiento de la aducción hacia un costado de la vía existente, en una franja técnicamente estable y con mejor accesibilidad para labores de operación y mantenimiento.

4.4 SECTOR MONTBLANC 2

Para el sector Montblanc 2, donde se evidencia la afectación de la tubería PVC de Ø8" como consecuencia del desprendimiento de material proveniente del talud superior, se propone una solución estructural definitiva consistente en la construcción de un viaducto tipo cercha para el soporte y conducción aérea de la línea de aducción en el tramo comprometido. La condición actual, en la cual la tubería se encuentra expuesta, sin excavación, ni protección estructural, haciéndola altamente vulnerable a impactos directos de material rocoso, esfuerzos por empuje lateral y deformaciones inducidas por movimientos superficiales del terreno.

Desde el punto de vista geotécnico, la persistencia de procesos de desagregación y caída de material en el talud indica que la amenaza es activa, por lo cual una solución basada únicamente en la excavación de la tubería no eliminaría la probabilidad de nuevas afectaciones. En consecuencia, la construcción de un viaducto tipo cercha permite independizar estructuralmente la tubería del comportamiento del talud, trasladando las cargas a apoyos puntuales cimentados en zonas estables, reduciendo significativamente la vulnerabilidad frente a remoción en masa y desprendimientos.

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

Esta alternativa mejora además las condiciones de inspección, operación y mantenimiento, facilita la detección temprana de posibles fugas y disminuye la probabilidad de interrupciones súbitas del servicio. Desde el enfoque, la solución propuesta constituye una medida de mitigación estructural que reduce la exposición de la infraestructura crítica a la amenaza identificada, fortaleciendo la resiliencia del sistema de aducción y contribuyendo a la garantía de continuidad del servicio en el municipio de Balboa.

5 PLANTEAMIENTO, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

El artículo 13 de la Resolución 330 de 2017, establece que *“Se deberán formular las alternativas de proyectos, que permitan dar solución a los problemas, objetivos y metas identificados en el artículo anterior, desde el punto de vista técnico, a nivel de predimensionamiento. El análisis debe tener en cuenta la gestión de riesgos y la gestión ambiental, revisar los aspectos financieros, económicos y sociales que permitan determinar la viabilidad del respectivo proyecto. Como resultado se obtendrá como mínimo el documento de pre-diseño acompañado de los planos y memorias respectivas de los proyectos de infraestructura”*.

5.1 PLANTEAMIENTO

Teniendo en cuenta el estado de la tubería actual, la topografía del terreno y las presiones actuantes dentro de la red, el planteamiento de alternativas se realiza con el objetivo de determinar los materiales idóneos que garanticen condiciones óptimas de durabilidad, resistencia, absorción de sobrepresiones, calidad, costos y atoxicidad.

Las alternativas planteadas para el presente estudio corresponden a variación de material, dado que el trazado se plantea por vía pública siendo común para todas las alternativas.

- Alternativa 1: Tubería de PVC.
- Alternativa 2: Tubería de PEAD.
- Alternativa 3: Tubería de Hierro Dúctil.

5.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

El artículo 14 de la Resolución 330 de 2017, menciona *“La comparación de alternativas deberá considerar los aspectos económicos, técnicos, sociales, ambientales, financieros, de riesgo y permisos. La selección de alternativas deberá estar soportada como mínimo en los siguientes criterios”*.

- **Criterios de sostenibilidad económica**

Se deberá analizar la disponibilidad de recursos y/o el análisis de viabilidad para la operación y el mantenimiento de los proyectos, con el fin de garantizar la utilización de los mismos. De igual forma, deberá tenerse en cuenta los costos ambientales asociados a los proyectos, valores a cancelar a la autoridad ambiental competente por concepto de estudios de evaluación y seguimiento de permisos o licencias ambientales, inversiones para la

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

recuperación, conservación, preservación y vigilancia de la cuenca hidrográfica que alimenta la fuente hídrica, tasas retributivas, compensatorias y por utilización del agua y por vertimientos a las fuentes hídricas, costos del manejo de lodos y otros sub-productos resultantes del tratamiento de aguas, entre otros.

- **Criterios de sostenibilidad técnica**

Deberá considerarse la capacidad técnica de la entidad responsable de la ejecución e implementación del proyecto, así como la disponibilidad de recursos, materiales, mano de obra, repuestos y demás elementos para el funcionamiento de los sistemas.

- **Criterios de sostenibilidad ambiental**

Durante la planeación de los proyectos del sector deberá buscarse su sostenibilidad ambiental, mediante la implementación de medidas que permitan armonizar la ejecución de los proyectos con el medio ambiente. Para esto, deberá implementarse como mínimo las medidas de sostenibilidad ambiental tales como:

- Protección de las fuentes hídricas: La selección de las fuentes hídricas a utilizar para proyectos del sector deberá realizarse teniendo en cuenta lo establecido en el plan de ordenamiento del recurso hídrico expedido por la autoridad ambiental competente, vigente para el área de influencia del proyecto.
- Protección de suelos y conservación de la calidad del aire, entre otras.
- Optimización de recursos y minimización de contaminantes: La comparación de alternativas deberá realizarse teniendo en cuenta el análisis del ciclo de vida de los proyectos, de tal forma que pueda escogerse la alternativa de mejor desempeño en término de demanda de recursos naturales y de generación de contaminantes.
- Los proyectos de tratamiento de aguas residuales deberán buscar la optimización en el manejo y/o aprovechamiento de sub-productos.

- **Criterios de gestión de riesgos**

Identificación de amenazas y vulnerabilidad, asociado a eventos como inundaciones, movimientos en masa, sismicidad, variabilidad climática, entre otros, para plantear las medidas o las obras de mitigación de riesgos correspondientes.

- **Criterios de sostenibilidad social**

El desarrollo de los proyectos del sector deberá contar con estudios relacionados con la aceptabilidad del proyecto, incluyendo el análisis de los patrones socioculturales de las poblaciones involucradas frente a las alternativas planteadas. Para esto, deberá involucrarse a las poblaciones atendidas durante la etapa de planteamiento del proyecto, con el fin de obtener información oportuna que pueda incidir en la toma de decisiones del proyecto, así como en la selección de la alternativa más favorable.

- **Criterios de Selección**

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

Para realizar el análisis de alternativas de tuberías de PVC, PEAD y Hierro Dúctil, evaluaremos cinco criterios fundamentales: sostenibilidad económica, sostenibilidad técnica, sostenibilidad ambiental, gestión de riesgos y sostenibilidad social. A cada criterio se le asignará un puntaje de 0 a 10, siendo 10 el puntaje más alto (mejor desempeño). Posteriormente, se sumarán los puntajes para determinar cuál es la mejor alternativa.

5.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Se deberá seleccionar la mejor alternativa con base en criterios de sostenibilidad, a partir de la evaluación de los aspectos económicos, técnicos, ambientales y sociales mencionados en el presente artículo; para lo cual deberá emplear metodologías que impliquen la mínima subjetividad de valoración y el menor costo de inversión, operación y mantenimiento. La definición de variables y los valores de ponderación en la selección de la alternativa más favorable deberá evaluarse mediante el empleo de matrices de selección multicriterio.

5.3.1 Sostenibilidad Económica

La sostenibilidad económica evalúa el costo inicial de las tuberías, el costo de instalación, el mantenimiento y la vida útil de las mismas.

PVC: Es económico en cuanto a costo inicial y es liviano, lo que reduce los costos de transporte e instalación. Tiene una vida útil de 50 a 70 años. El PEAD es resistente a la corrosión y tiene mal comportamiento frente a cargas dinámicas.

Puntaje: 8/10

PEAD: Aunque más costoso que el PVC, es durable y resistente a condiciones agresivas. Su vida útil es similar al PVC, pero su costo de instalación es más alto debido a la flexibilidad y técnicas de instalación más especializadas. El PEAD es resistente a la corrosión y tiene un buen comportamiento frente a cargas dinámicas.

Puntaje: 7/10

Hierro Dúctil: El costo inicial es más alto debido al material pesado y la necesidad de equipos especiales para la instalación. Sin embargo, tiene una vida útil muy larga (más de 100 años), lo que puede justificar su costo en ciertos proyectos.

Puntaje: 6/10

5.3.2 Sostenibilidad Técnica

La sostenibilidad técnica evalúa la fiabilidad, durabilidad, capacidad de adaptación a diferentes condiciones y facilidad de instalación.

PVC: Es fácil de instalar, ligero y flexible, pero su resistencia a las altas temperaturas y a ciertos productos químicos es limitada. Sin embargo, es adecuado para muchas aplicaciones de agua potable.

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

Puntaje: 7/10

PEAD: Tiene una excelente resistencia a productos químicos y altas presiones. Es muy duradero y adecuado para zonas con terreno inestable o que experimentan movimientos sísmicos. Su flexibilidad lo hace muy versátil, aunque requiere técnicas de instalación más especializadas.

Puntaje: 9/10

Hierro Dúctil: Es extremadamente resistente y tiene una larga vida útil. Aunque es muy robusto, es pesado y requiere técnicas de instalación más complejas, lo que puede aumentar los costos y el tiempo de ejecución.

Puntaje: 8/10

5.3.3 Sostenibilidad Ambiental

Este criterio se refiere al impacto ambiental asociado con la producción, transporte, instalación y disposición final de las tuberías.

PVC: La producción de PVC puede generar emisiones de compuestos tóxicos. Además, al final de su vida útil, no es fácilmente reciclable, aunque algunos avances en reciclaje están mejorando su desempeño ambiental. Tiene un impacto ambiental moderado.

Puntaje: 5/10

PEAD: Es más fácil de reciclar que el PVC y tiene una huella de carbono menor en su producción. Su durabilidad también reduce la frecuencia de reemplazos, lo cual es un beneficio ambiental a largo plazo.

Puntaje: 7/10

Hierro Dúctil: Tiene un proceso de producción con un alto impacto ambiental debido al uso de hierro y su extracción. Sin embargo, el hierro es reciclable y su vida útil larga compensa parte de su huella ambiental.

Puntaje: 6/10

5.3.4 Gestión de Riesgos

Este criterio evalúa la resistencia al desgaste, la posibilidad de fallos y la facilidad para prevenir y manejar emergencias.

PVC: Es susceptible a daños por UV y temperatura extrema, lo que puede llevar a roturas o deformaciones. Sin embargo, tiene una probabilidad baja de fallo por corrosión o desgaste físico.

Puntaje: 6/10

PEAD: Muy resistente a la corrosión, el desgaste y los impactos. Su flexibilidad también lo hace menos susceptible a fracturas por movimientos del terreno. Presenta un riesgo bajo de fallos si se instala correctamente.

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

Puntaje: 8/10

Hierro Dúctil: Aunque extremadamente robusto, el hierro es susceptible a la corrosión si no se mantiene adecuadamente. Esto puede generar riesgos a largo plazo si no se realiza un adecuado tratamiento y mantenimiento de las tuberías.

Puntaje: 7/10

5.3.5 Sostenibilidad Social

Este criterio se refiere a los beneficios sociales relacionados con el empleo, la seguridad en la instalación y la aceptación social del material.

PVC: Tiene una buena aceptación social debido a su bajo costo, pero la producción de PVC está relacionada con la liberación de sustancias peligrosas en el proceso, lo que puede generar preocupaciones. La instalación es relativamente sencilla y segura.

Puntaje: 7/10

PEAD: Es generalmente bien aceptado y se percibe como un material moderno y resistente. El proceso de fabricación es menos contaminante que el PVC, lo que mejora su imagen social. La instalación es más compleja, pero los beneficios superan este desafío.

Puntaje: 8/10

Hierro Dúctil: Aunque tiene una larga vida útil, la aceptación social puede ser menor debido a los altos costos y la percepción de que es un material obsoleto en comparación con opciones más modernas. Sin embargo, el hierro es un material reciclable, lo cual favorece su sostenibilidad social.

Puntaje: 6/10

5.3.6 Conclusión

De la calificación realizada se obtiene la siguiente matriz de evaluación.

Tabla 5.1 Matriz Evaluación Final.

CRITERIO	PVC	PEAD	HIERRO DÚCTIL
Sostenibilidad Económica	8	7	6
Sostenibilidad Técnica	7	9	8
Sostenibilidad Ambiental	5	7	6
Gestión de Riesgos	6	8	7
Sostenibilidad Social	7	8	6
Total	33	39	33

Fuente: Propia.

PEAD (Polietileno de Alta Densidad) es la alternativa más sólida en términos de sostenibilidad técnica, gestión de riesgos y sostenibilidad social. Aunque tiene un costo inicial mayor que el PVC, su

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

durabilidad, flexibilidad, resistencia a la corrosión y fácil reciclaje hacen de él una opción superior en muchos escenarios.

PVC es la opción más económica y fácil de instalar, pero presenta limitaciones en cuanto a su sostenibilidad ambiental y resistencia a condiciones extremas.

Hierro Dúctil es ideal para proyectos donde se requiere una solución extremadamente duradera y robusta, pero su costo elevado y la necesidad de mantenimiento constante lo hacen menos atractivo frente a alternativas más económicas y sostenibles.

En conclusión, **PEAD** se considera la mejor opción globalmente si se priorizan aspectos técnicos, de durabilidad y de gestión de riesgos.

6 DISEÑO RED DE ACUEDUCTO

Teniendo definida la alternativa seleccionada, correspondiente a tubería de PEAD, a continuación, desarrollaremos el diseño hidráulico detallado de los cuatro (4) puntos de intervención de la red de aducción que garantizará el suministro de agua en el municipio de Balboa.

6.1 SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE LA ACUEDUCTO

El artículo 57 de la Resolución 330 de 2017, menciona que *“todos los sistemas de redes de distribución deben contar con un modelo hidráulico, a través del cual se pueda predecir el comportamiento frente a diferentes condiciones operativas, de mantenimiento o de expansión”*. Es por esto que para el presente caso se realizará la modelación hidráulica del sistema en el software EPANET.

EPANET es un software de modelación hidráulica y de calidad de agua desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Se utiliza principalmente para simular el comportamiento de redes de distribución de agua potable. Esta herramienta es ampliamente empleada en el diseño, planificación, análisis y optimización de sistemas de distribución de agua, lo que ayuda a garantizar un suministro eficiente y seguro.

6.1.1 Funcionamiento de EPANET

El software permite modelar sistemas de tuberías, bombas, válvulas, tanques y depósitos, proporcionando información detallada sobre diversos parámetros en una red de acueducto de agua potable. Entre las principales capacidades de EPANET, destacan las siguientes:

Simulación de Flujos y Presiones: EPANET permite calcular el flujo de agua en cada tubería y la presión en cada nodo (punto de conexión) de la red. Esto es esencial para asegurar que el sistema funcione dentro de los parámetros de diseño y para identificar posibles problemas de presión o caudales inadecuados.

Simulación en Régimen Transitorio: Aunque EPANET está diseñado principalmente para simulaciones en estado estacionario (situación de equilibrio), también puede evaluar cambios en el tiempo, lo que ayuda a analizar variaciones diarias en el consumo de agua y su impacto en la red.

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

6.1.2 Modelación de Componentes

Tuberías: Las tuberías conectan nodos y transportan el flujo de agua. EPANET permite definir características como la longitud, diámetro y material de las tuberías, que afectan la fricción y la pérdida de carga.

Bombas y Válvulas: Se pueden simular bombas con diferentes curvas de rendimiento, así como válvulas de control de flujo, presión y nivel.

Depósitos y Tanques: Representan puntos de almacenamiento que influyen en el comportamiento hidráulico y en la calidad del agua en la red.

EPANET es una herramienta clave para las aducciones de agua potable, ya que permite:

Diseñar sistemas eficientes: Permiten planificar la red de acueducto y optimizar la ubicación de bombas y depósitos para garantizar un suministro constante y confiable.

Simular escenarios de demanda: La herramienta facilita el análisis de diferentes patrones de consumo y permite ajustar el sistema para situaciones de máxima demanda.

En resumen, EPANET es un software versátil y poderoso que contribuye al diseño y análisis de redes de distribución de agua potable, mejorando la capacidad de gestión y asegurando un suministro seguro y eficiente para las comunidades.

6.2 PÁRAMETROS DE DISEÑO

A continuación, se presentan los parámetros de diseño que se tuvieron en cuenta para dimensionar el sistema de la red de acueducto de la aducción del municipio de Balboa:

Tabla 6.1 Parámetros de diseño.

PARAMETRO DE ENTRADA	UNIDAD	SÍMBOLO	VALOR	OBSERVACIONES
Caudal de Diseño	L/s	Qd	47.41	Resolución 0330 de 2017 art. 47 Del capítulo de Caudales de Diseño del informe de diseño del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado del municipio de Balboa (2046).
Diámetro interno mínimo	mm	----	90	Resolución 0330 de 2017 art. 63
Características del fluido	----	----	----	El tipo de fluido transportado en la línea es agua potable a temperatura ambiente. Se adopta una temperatura del agua de 16.07° C, para una viscosidad cinemática del fluido de 0.01117 cm ² /s
Rugosidad de las tuberías	mm	e	0.007	Para tuberías PEAD, Tabla B.6.29, del Título B, RAS 2011.
Software para cálculo hidráulico	----	----	EPANET	Software de uso libre para modelación de sistemas de acueducto.

Fuente: Propia.

6.2.1 Cálculo de las pérdidas por fricción

El cálculo de las pérdidas de energía debidas a la fricción en una tubería o conducto cilíndrico largo, con un interior de diámetro continuo, debe realizarse mediante de Darcy – Weisbach, mostrada a continuación:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

- hf: Pérdidas por fricción
- f: Factor de fricción
- L: Longitud de la tubería (m)
- D: Diámetro de la tubería (m)
- v: Velocidad media del fluido (m/s)
- g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

6.2.2 Cálculo de las pérdidas menores

Para el cálculo de las pérdidas menores producidas en curvas, tees, válvulas y otros accesorios debe utilizarse la ecuación:

$$h_m = k_m * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

- hm: Pérdidas menores
- km: Coeficiente de pérdidas menores (adimensional)
- v: Velocidad media del fluido (m/s)
- g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

Del Título B – Acueducto del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2011, se presenta la siguiente tabla con algunos coeficientes de pérdidas menores para accesorios típicos de aducciones a presión o conducciones.

Tabla 6.2 Coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes

ACCESORIO	k
Válvula de globo, completamente abierta	10.00
Válvula de mariposa, completamente abierta	5.00
Válvula de cheque, completamente abierta	2.50
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.20
Codo de radio corto	0.90

ACCESORIO	k
Codo de radio medio	0.80
Codo de gran radio	0.60
Codo de 45*	0.40
Te, en sentido recto	0.30
Te, a través de la salida lateral	1.80
Unión	0.30
Ye de 45*, en sentido recto	0.30
Ye de 45*, salida lateral	0.80
Entrada recta a tope	0.50
Entrada con boca acampanada	0.10
Entrada con tubo entrante	0.90
Salida	1.00

Fuente: Tabla 6.30, Título B – RAS 2011.

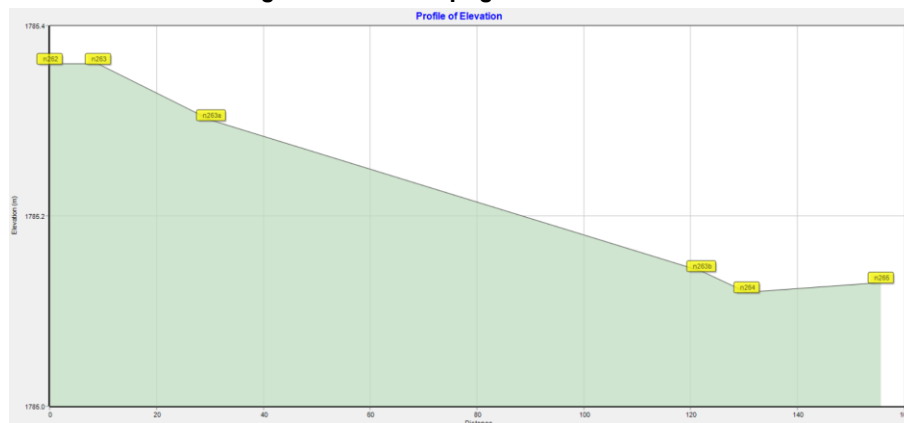
6.3 TOPOLOGÍA

En el diseño de la red proyectada se debe garantizar que las tuberías propuestas tengan la capacidad de transportar los caudales requeridos en todo el horizonte del proyecto. Es por esto que, para el presente caso y utilizando el software EPANET realizamos el trazado de la red mediante nodos y tuberías. En los nodos se asigna una elevación procedente del modelo de elevación de la topografía y en a las tuberías se ingresan los diámetros, rugosidades y pérdidas.

Posterior a esto se realiza una iteración de diámetros, de manera tal que se cumplan las condiciones de capacidad de transporte, presión y velocidad.

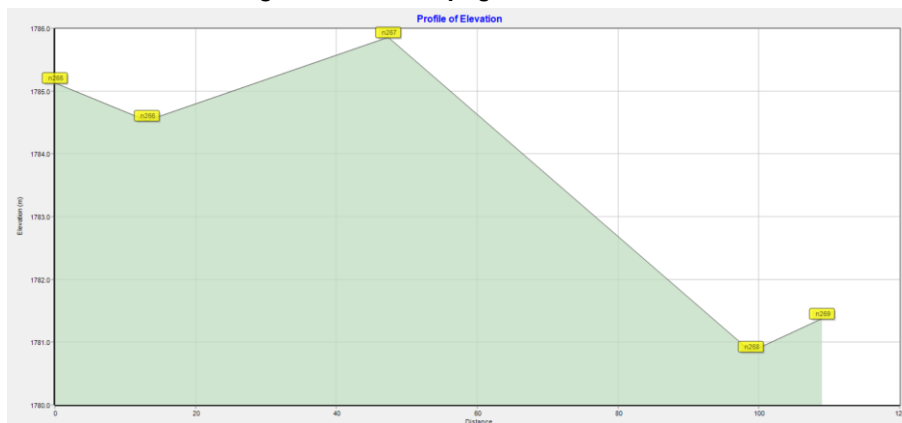
Con base en las alturas del modelo de elevación obtenido mediante el levantamiento topográfico, a continuación, se presentan los diferentes perfiles topográficos de los cuatro (4) sectores a intervenir.

Figura 6.1 Perfil topográfico Cominal 1.



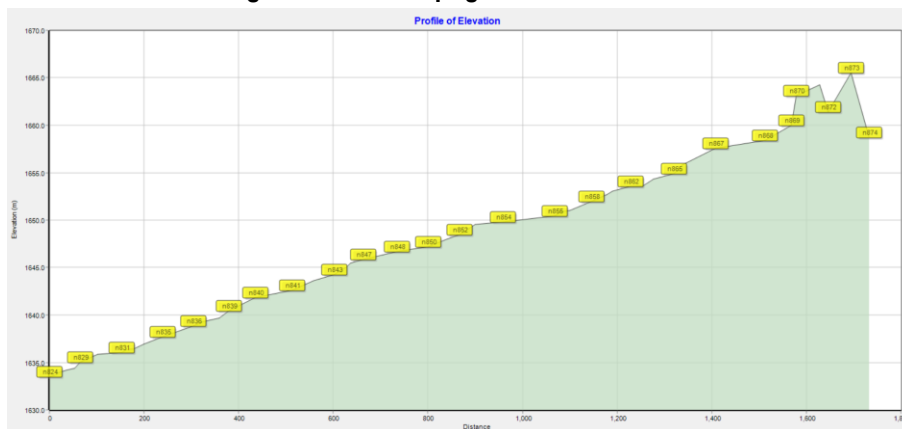
Fuente: Epanet.

Figura 6.2 Perfil topográfico Cominal 2.



Fuente: Epanet.

Figura 6.3 Perfil topográfico Montblanc 1.



Fuente: Epanet.

Figura 6.4 Perfil topográfico Montblanc 2.

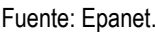


Figura 6.5 Contornos elevaciones Cominal 1 y Cominal 2.

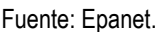
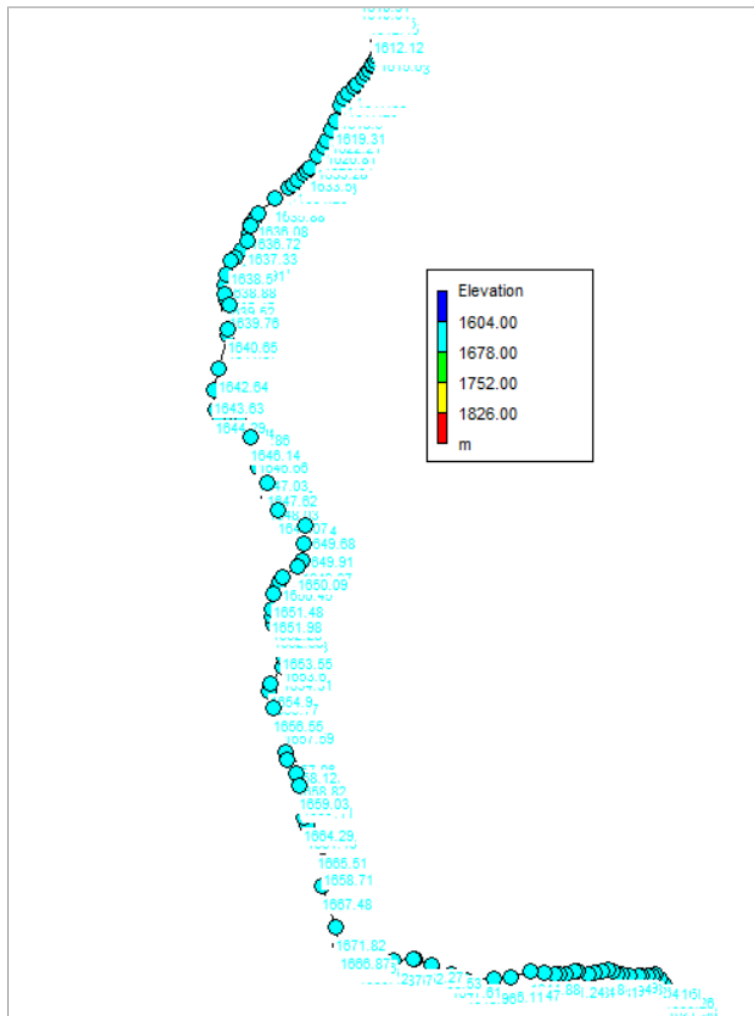
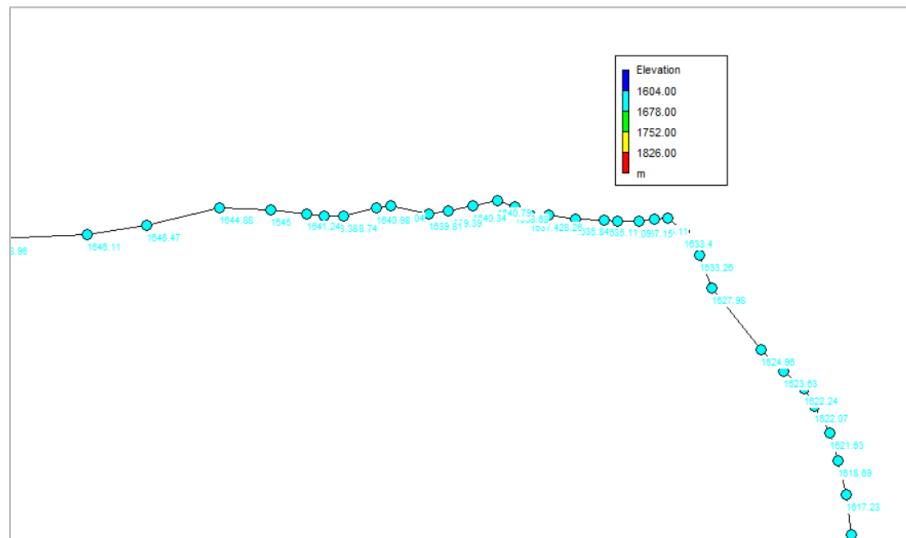


Figura 6.6 Contornos elevaciones Montblanc 1.



Fuente: Epanet.

Figura 6.7 Contornos elevaciones Montblanc 2.



Fuente: Epanet.

6.4 ASIGNACIÓN DE DEMANDAS

Para el diseño de la red de acueducto se asigna en el nodo final la demanda calculada, equivalente para este caso a un caudal de 28.70 L/s.

6.5 CAPACIDAD HIDRÁULICA

El diámetro seleccionado para el diseño de la red proyectada en los cuatro (4) sectores será de Ø8", manteniendo el mismo diámetro de la red actual.

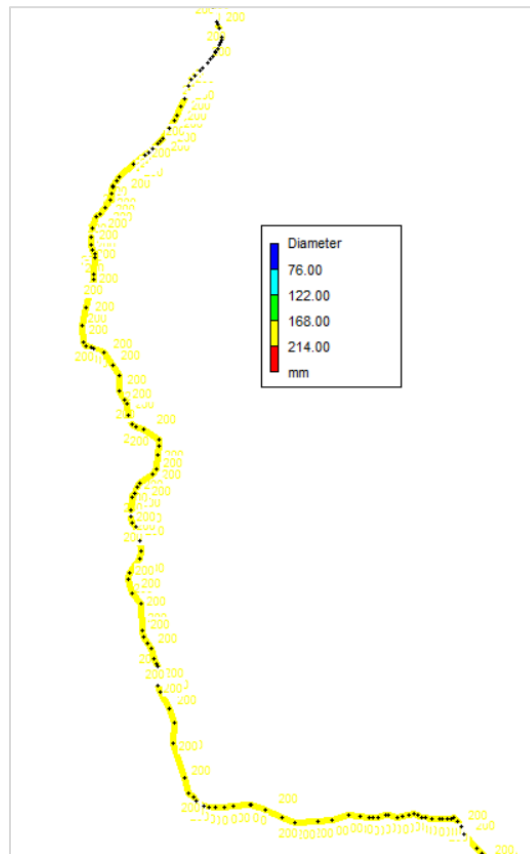
En la siguiente figura se presenta la distribución espacial de los diámetros en planta.

Figura 6.8 Diámetros Cominal 1 y Cominal 2.



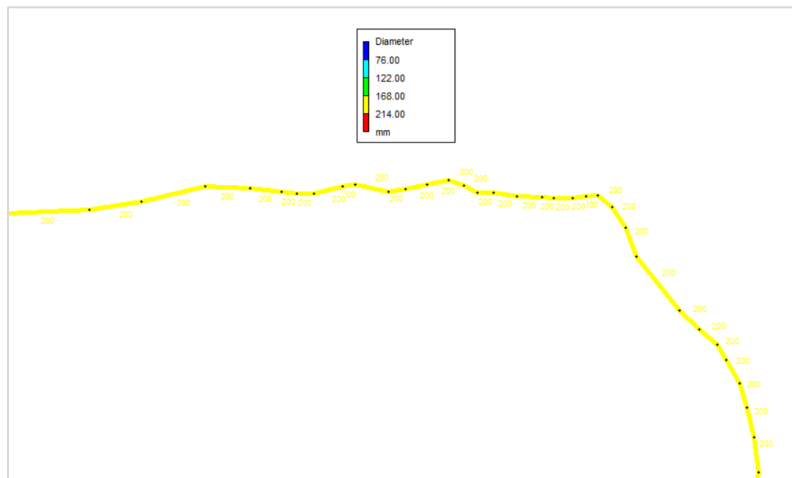
Fuente: Epanet.

Figura 6.9 Diámetros Montblanc 1.



Fuente: Epanet.

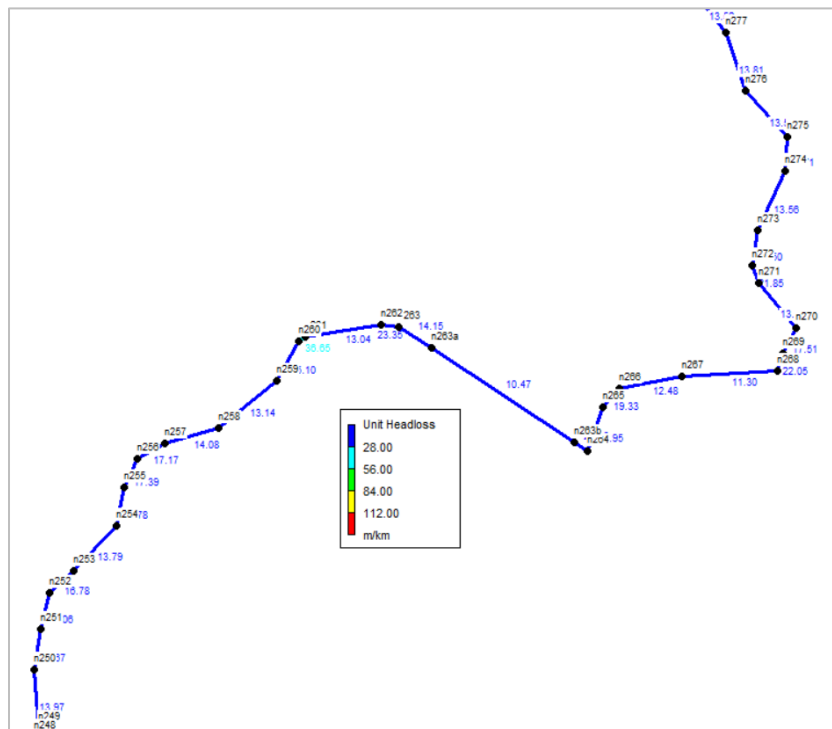
Figura 6.10 Diámetros Montblanc 2.



Fuente: Epanet.

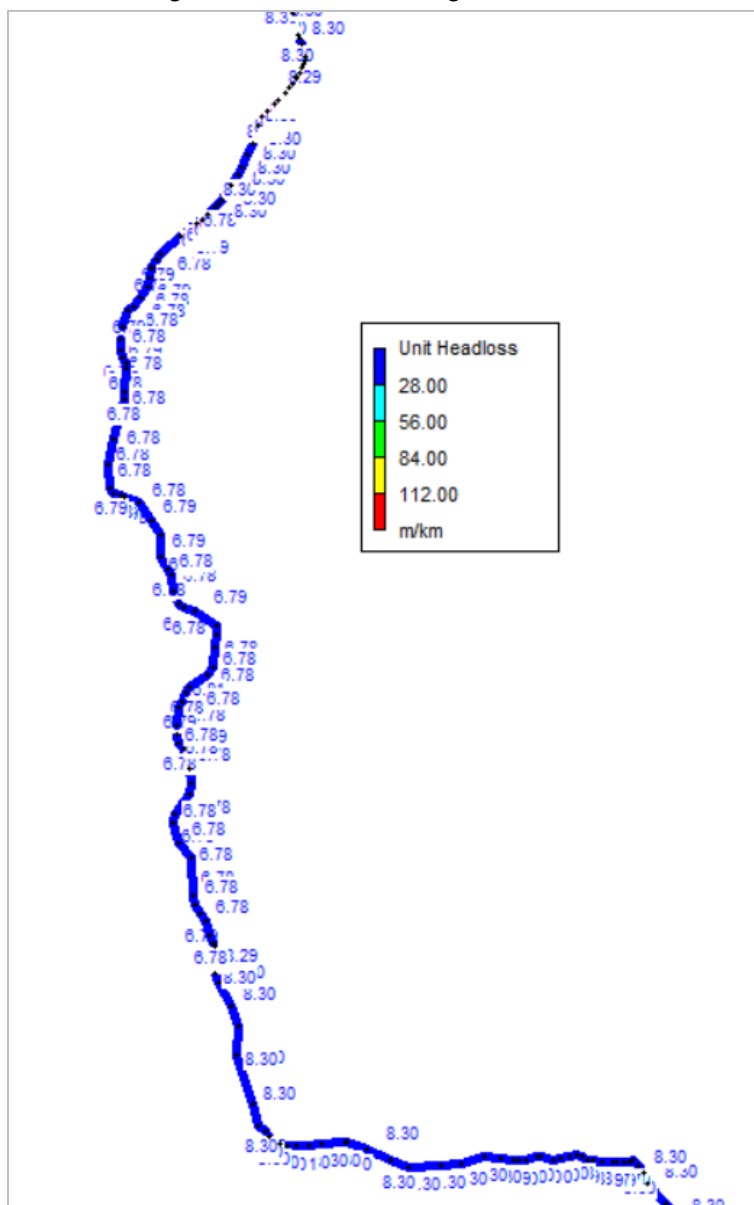
Teniendo en cuenta las pérdidas por fricción de la tubería y las pérdidas menores por accesorios y válvulas, a continuación, se presentan las pérdidas de carga (m/Km) que tiene la red proyectada, equivalentes a 1.37 m/Km.

Figura 6.11 Pérdida de carga Cominal 1y Cominal 2.



Fuente: Epanet.

Figura 6.12 Pérdida de carga Montblanc 1.



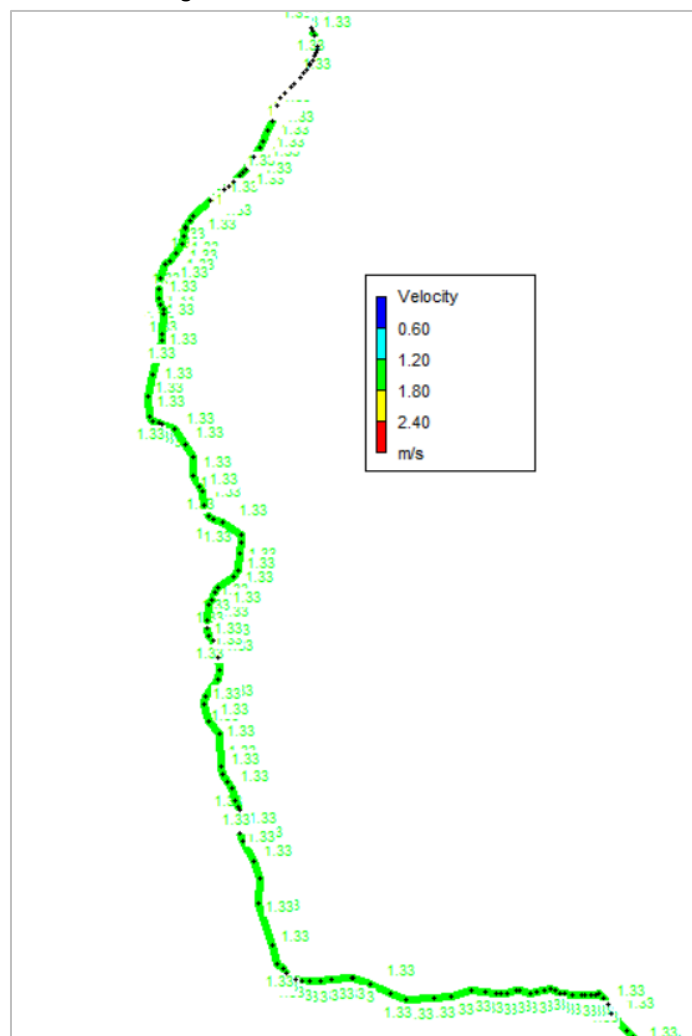
Fuente: Epanet.

Figure 10 is a line graph showing the unit headloss (m/km) versus stationing for the proposed 1500mm diameter sewer. The y-axis represents unit headloss in m/km, ranging from 0.00 to 112.00. The x-axis represents stationing from 0+00 to 1+00. The headloss is generally low, around 0.30 m/km, with a sharp increase to 0.75 m/km at station 0+75. A legend indicates the color scale for unit headloss.

Stationing	Unit Headloss (m/km)
0+00	0.30
0+10	0.30
0+20	0.30
0+30	0.30
0+40	0.30
0+50	0.30
0+60	0.30
0+70	0.30
0+75	0.75
0+80	0.30
0+90	0.30
0+95	0.30
1+00	0.30

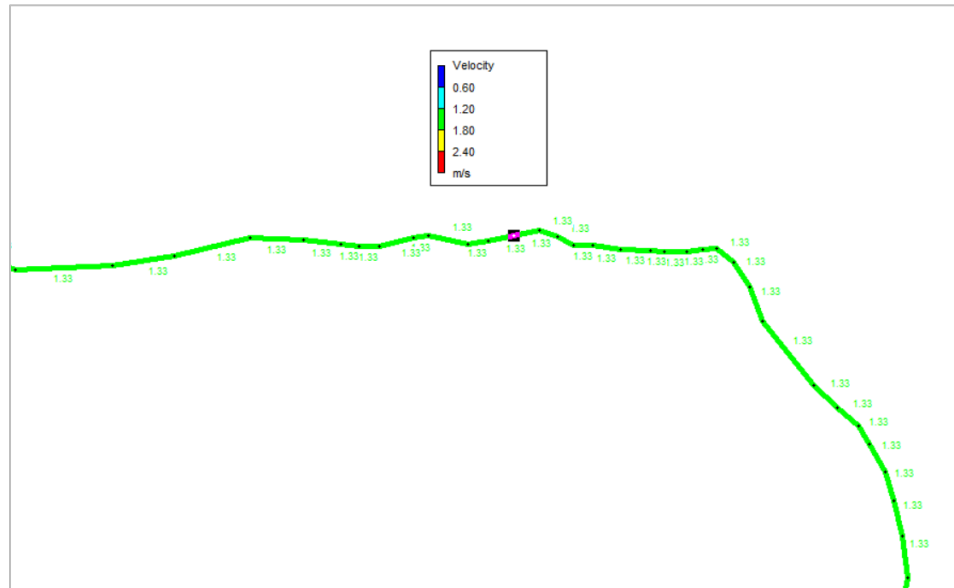
En la siguiente figura se presenta la distribución de velocidades de la red proyectada, destacando que las tuberías se encuentran por debajo del rango de los 2.00 m/s.

Figura 6.15 Velocidad Montblanc 1.



Fuente: Epanet.

Figura 6.16 Velocidad Montblanc 2.



Fuente: Epanet.

6.7 PRESIONES

El artículo 56 de la Resolución 330 de 2017, establece que:

- La presión que debe soportar la tubería, incluyendo la onda de sobrepresión que genera el golpe de ariete, en ningún caso deberá exceder la presión de trabajo recomendada por el fabricante del ducto. La onda de sub-presión no debe generar presiones manométricas inferiores a 10 m.c.a.
- Se deberá garantizar una presión dinámica mínima de cinco (5) metros en los puntos topográficos más elevados, tomando como referencia la cota clave del ducto.

Para el presente caso, adoptaremos el criterio de presiones máximas del numeral 6.4.4.6, recomendadas en el Título B – Acueducto del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2011, donde menciona que la presión de diseño debe ser:

$$P_{Max} = \max (P_E, P_T)$$

$$P_D = k * P_{Max}$$

Donde:

PMax: Presión máxima entre la presión estática y la presión transiente (m.c.a)

PE: Presión estática (m.c.a)

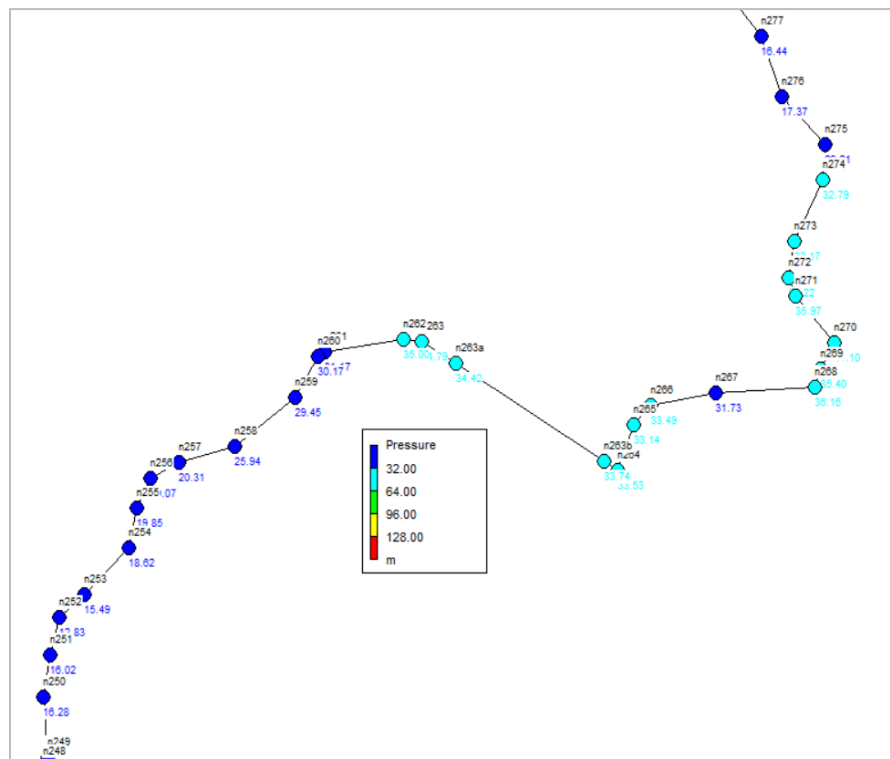
PT: Presión causada por fenómenos transientes (m.c.a)

k: = Factor de seguridad (igual a 1.1 para conducciones por gravedad)

La presión nominal de trabajo de las tuberías y de todos sus accesorios debe ser mayor que la presión de diseño calculada de acuerdo con la ecuación anterior.

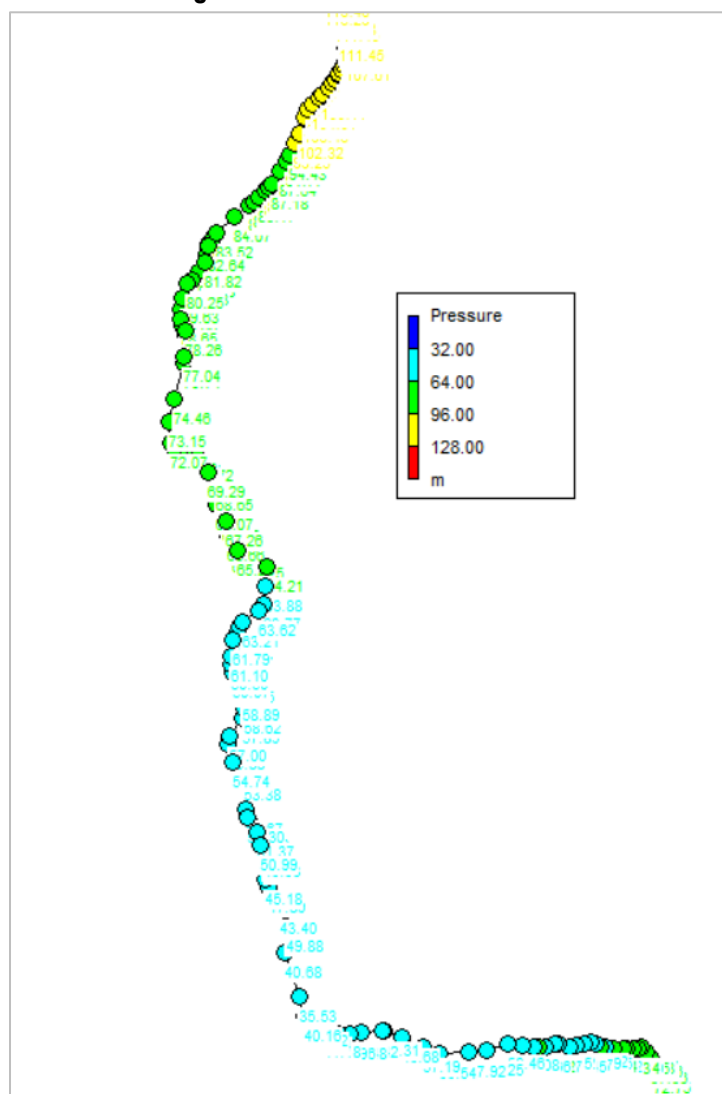
En la siguiente figura se presenta la distribución de presiones de la red proyectada, destacando que dadas las condiciones topográficas, es una red sometida a altas presiones, lo cual es un factor determinante para la selección de la resistencia de las tuberías.

Figura 6.17 Presiones Cominal 1 y Cominal 2.



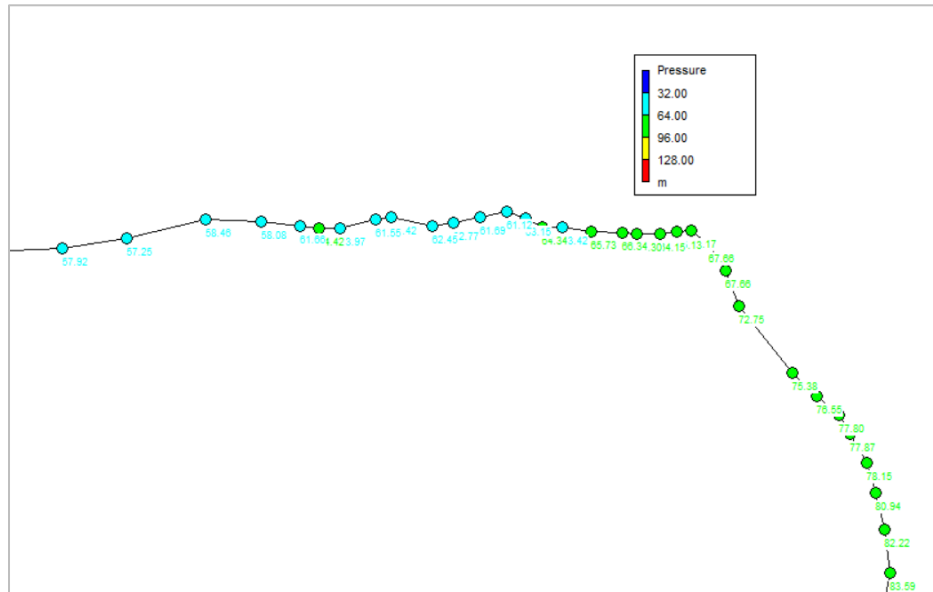
Fuente: Epanet.

Figura 6.18 Presiones Montblanc 1.



Fuente: Epanet.

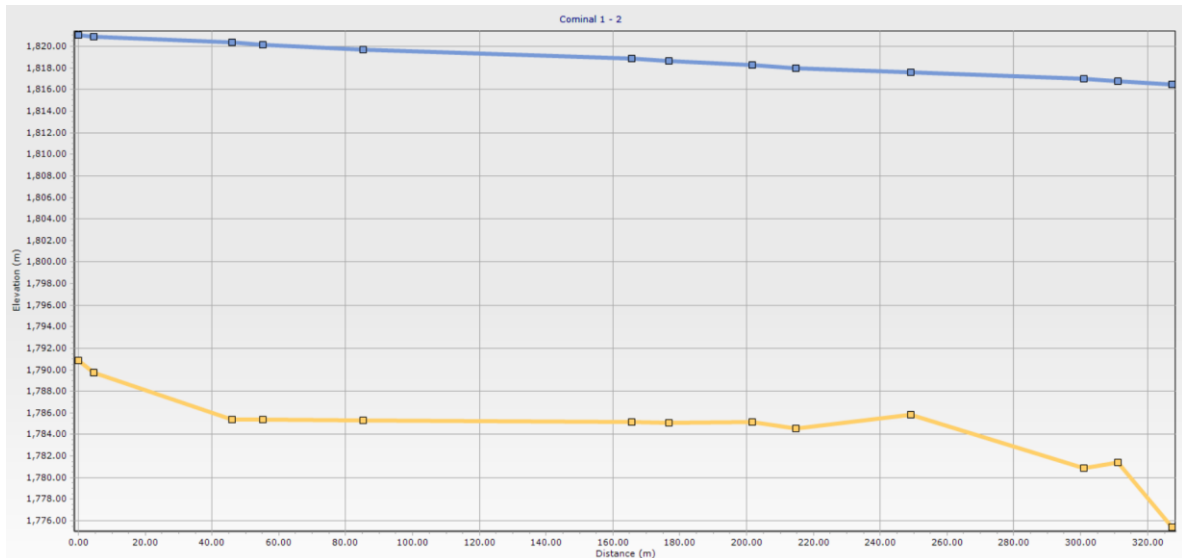
Figura 6.19 Presiones Montblanc 2.



Fuente: Epanet.

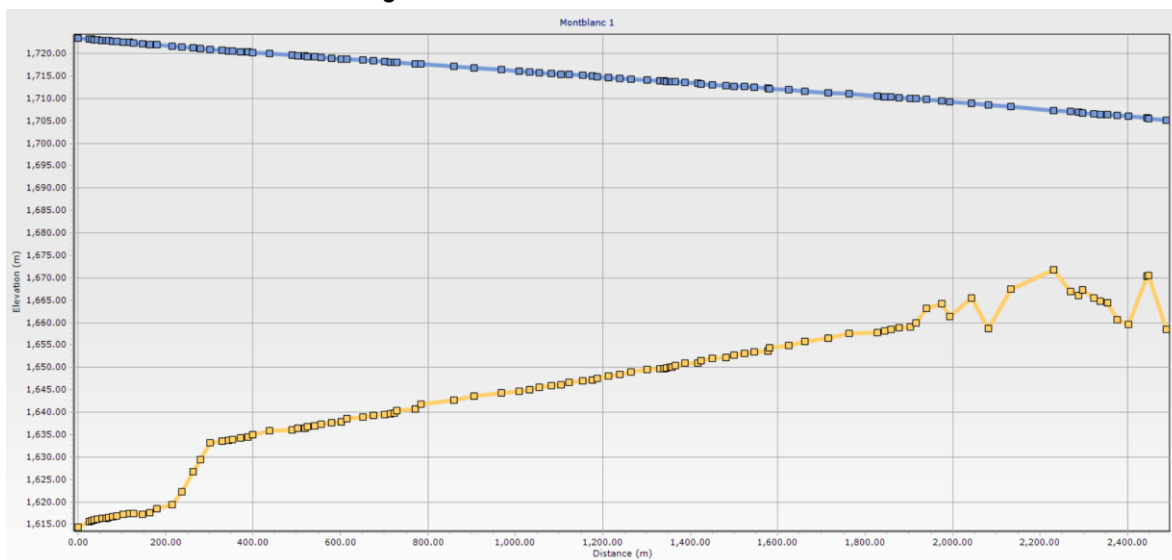
De los gradientes piezométricos de los nodos de la red proyectada, a continuación, se presenta el perfil hidráulico, donde se establece la relación de la línea piezométrica con respecto a la altura de la tubería.

Figura 6.20 Perfil Hidráulico Cominal 1 y Cominal 2.



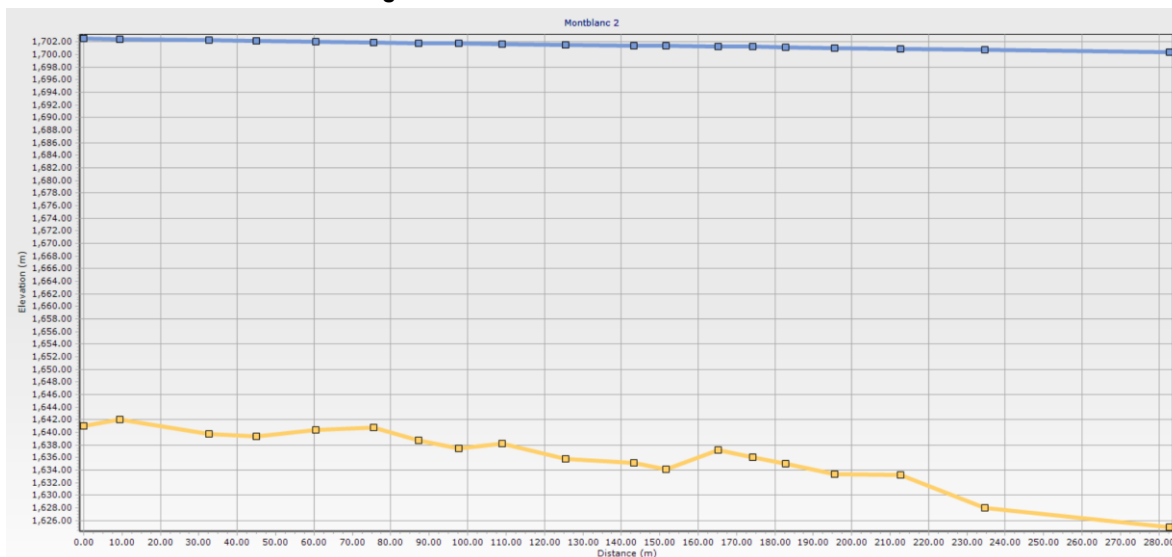
Fuente: Bentley - WaterGems.

Figura 6.21 Perfil Hidráulico Montblanc 1.



Fuente: Bentley - WaterGems.

Figura 6.22 Perfil Hidráulico Montblanc 2.



Fuente: Bentley - WaterGems.

6.8 SELECCIÓN DE TUBERÍAS

Una vez obtenidas las presiones máximas de la red proyectada, se debe establecer la resistencia de la tubería, de manera que esta tenga la capacidad soportarlas, para el presente caso se propone la utilización de tubería PN16.

Los diámetros utilizados para la modelación hidráulica serán los internos de acuerdo con la resistencia de la tubería, obtenidos de los manuales de diferentes proveedores de tuberías de PEAD de la región.

Tabla 6.3 Características de las tuberías PEAD.

RESISTENCIA	DIÁMETRO (")	DIÁMETRO INTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	RESISTENCIA TUBERÍA (mca)
PN16	8	163.60	18.20	160

Fuente: Manual Extrucol - Acuaflex.

Con el fin de garantizar la resistencia de la tubería utilizada con respecto a la presión máxima actuante, en la siguiente figura se presenta en línea roja la resistencia de la tubería versus la presión de la red proyectada, donde se valida que en todos los puntos del abscisado la presión está por debajo de la presión de resistencia de la tubería.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los tipos de tuberías utilizados al largo de todo el recorrido de la red proyectada.

Tabla 6.4 Información de tuberías (Cominal 1 y Cominal 2).

NODO INICIAL	NODO FINAL	DIAMETRO (mm)	MATERIAL	LONGITUD (m)	CAUDAL (L/s)	VELOCIDAD (m/s)	GRADIENTE DE PÉRDIDAS (m/m)	PRESIÓN INICIAL (mca)	PRESIÓN FINAL (mca)
n261	n262	198.2	Asbesto Cemento	41.54	47.41	1.54	0.013	31.15	34.98
n262	n263	198.2	Asbesto Cemento	9.11	47.41	1.54	0.023	34.98	34.77
n263	n263a	198.2	Asbesto Cemento	30.06	47.41	1.54	0.014	34.77	34.4
n263a	n263b	198.2	PEAD	80.3	47.41	1.54	0.01	34.4	33.72
n263b	n264	198.2	Asbesto Cemento	11.15	47.41	1.54	0.021	33.72	33.51
n264	n265	198.2	Asbesto Cemento	25.06	47.41	1.54	0.015	33.51	33.12
n265	n266	198.2	Asbesto Cemento	13.08	47.41	1.54	0.019	33.12	33.47
n266	n267	198.2	PEAD	34.32	47.41	1.54	0.012	33.47	31.71
n267	n268	198.2	PEAD	51.76	47.41	1.54	0.011	31.71	36.14
n268	n269	198.2	Asbesto Cemento	10.11	47.41	1.54	0.022	36.14	35.38
n269	n270	198.2	Asbesto Cemento	16.34	47.41	1.54	0.018	35.38	41.08
n270	n271	198.2	Asbesto Cemento	31.4	47.41	1.54	0.014	41.08	35.95

Fuente: Propia.

Tabla 6.5 Información de tuberías (Montblanc 1).

NODO INICIAL	NODO FINAL	DIAMETRO (mm)	MATERIAL	LONGITUD (m)	CAUDAL (L/s)	VELOCIDAD (m/s)	GRADIENTE DE PÉRDIDAS (m/m)	PRESIÓN INICIAL (mca)	PRESIÓN FINAL (mca)
n824	n825	200	PEAD	13.46	41.67	1.33	0.007	87.14	86.89
n825	n826	200	PEAD	9.64	41.67	1.33	0.007	86.89	86.52
n826	n827	200	PEAD	18.68	41.67	1.33	0.007	86.52	86.13

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

NODO INICIAL	NODO FINAL	DIAMETRO (mm)	MATERIAL	LONGITUD (m)	CAUDAL (L/s)	VELOCIDAD (m/s)	GRADIENTE DE PÉRDIDAS (m/m)	PRESIÓN INICIAL (mca)	PRESIÓN FINAL (mca)
n827	n828	200	PEAD	16.87	41.67	1.33	0.007	86.13	85.83
n828	n829	200	PEAD	10.76	41.67	1.33	0.007	85.83	85.14
n829	n830	200	PEAD	38.27	41.67	1.33	0.007	85.14	84.03
n830	n831	200	PEAD	52.68	41.67	1.33	0.007	84.03	83.47
n831	n832	200	PEAD	12.32	41.67	1.33	0.007	83.47	83.11
n832	n833	200	PEAD	16.67	41.67	1.33	0.007	83.11	82.91
n833	n833a	200	PEAD	5.67	41.67	1.33	0.007	82.91	82.6
n833a	n834	200	PEAD	16.87	41.67	1.33	0.007	82.6	82.25
n834	n834a	200	PEAD	14.26	41.67	1.33	0.007	82.25	81.78
n834a	n835	200	PEAD	23.01	41.67	1.33	0.007	81.78	81.24
n835	n835a	200	PEAD	23.34	41.67	1.33	0.007	81.24	80.88
n835a	n835b	200	PEAD	12.25	41.67	1.33	0.007	80.88	80.21
n835b	n836	200	PEAD	36.31	41.67	1.33	0.007	80.21	79.59
n836	n837	200	PEAD	23.84	41.67	1.33	0.007	79.59	79.01
n837	n837a	200	PEAD	25.38	41.67	1.33	0.007	79.01	78.61
n837a	n838	200	PEAD	14.13	41.67	1.33	0.007	78.61	78.37
n838	n838a	200	PEAD	9	41.67	1.33	0.007	78.37	78.22
n838a	n839	200	PEAD	5.27	41.67	1.33	0.007	78.22	77.5
n839	n839a	200	PEAD	42.14	41.67	1.33	0.007	77.5	77
n839a	n840	200	PEAD	12.89	41.67	1.33	0.007	77	75.7
n840	n841	200	PEAD	75.4	41.67	1.33	0.007	75.7	74.42
n841	n842	200	PEAD	47.19	41.67	1.33	0.007	74.42	73.11
n842	n843	200	PEAD	61.17	41.67	1.33	0.007	73.11	72.03
n843	n844	200	PEAD	40.16	41.67	1.33	0.007	72.03	71.36
n844	n845	200	PEAD	24.83	41.67	1.33	0.007	71.36	70.84
n845	n846	200	PEAD	21.84	41.67	1.33	0.007	70.84	70.23
n846	n847	200	PEAD	27.78	41.67	1.33	0.007	70.23	69.69
n847	n847a	200	PEAD	22.47	41.67	1.33	0.007	69.69	69.25
n847a	n848	200	PEAD	17.43	41.67	1.33	0.007	69.25	68.62
n848	n849	200	PEAD	31.89	41.67	1.33	0.007	68.62	68.03
n849	n850	200	PEAD	22.56	41.67	1.33	0.007	68.03	67.72
n850	n850a	200	PEAD	9.92	41.67	1.33	0.007	67.72	67.22
n850a	n851	200	PEAD	26.71	41.67	1.33	0.007	67.22	66.63
n851	n852	200	PEAD	25.03	41.67	1.33	0.007	66.63	66.03
n852	n852a	200	PEAD	26.18	41.67	1.33	0.007	66.03	65.24
n852a	n853	200	PEAD	37.62	41.67	1.33	0.007	65.24	64.52
n853	n853a	200	PEAD	29.07	41.67	1.33	0.007	64.52	64.18
n853a	n854	200	PEAD	8.48	41.67	1.33	0.007	64.18	64.02

NODO INICIAL	NODO FINAL	DIAMETRO (mm)	MATERIAL	LONGITUD (m)	CAUDAL (L/s)	VELOCIDAD (m/s)	GRADIENTE DE PÉRDIDAS (m/m)	PRESIÓN INICIAL (mca)	PRESIÓN FINAL (mca)
n854	n854a	200	PEAD	6.48	41.67	1.33	0.007	64.02	63.85
n854a	n854b	200	PEAD	8.01	41.67	1.33	0.007	63.85	63.74
n854b	n854c	200	PEAD	3.71	41.67	1.33	0.007	63.74	63.59
n854c	n855	200	PEAD	7.27	41.67	1.33	0.007	63.59	63.18
n855	n856	200	PEAD	22.31	41.67	1.33	0.007	63.18	62.56
n856	n857	200	PEAD	28.99	41.67	1.33	0.007	62.56	62.24
n857	n857b	200	PEAD	7.37	41.67	1.33	0.007	62.24	61.75
n857b	n858	200	PEAD	27.01	41.67	1.33	0.007	61.75	61.07
n858	n859	200	PEAD	30.45	41.67	1.33	0.007	61.07	60.56
n859	n860	200	PEAD	18.53	41.67	1.33	0.007	60.56	60.04
n860	n861	200	PEAD	24.51	41.67	1.33	0.007	60.04	59.52
n861	n862	200	PEAD	21.93	41.67	1.33	0.007	59.52	58.85
n862	n863	200	PEAD	32	41.67	1.33	0.007	58.85	58.59
n863	n864	200	PEAD	3.12	41.67	1.33	0.007	58.59	57.86
n864	n865	200	PEAD	43.8	41.67	1.33	0.007	57.86	56.97
n865	n866	200	PEAD	36.24	41.67	1.33	0.007	56.97	55.86
n866	n866a	200	PEAD	53.48	41.67	1.33	0.007	55.86	54.71
n866a	n867	200	PEAD	48.02	41.67	1.33	0.007	54.71	53.35
n867	n867a	200	PEAD	64.05	41.67	1.33	0.007	53.35	52.64
n867a	n867b	200	PEAD	16.77	41.67	1.33	0.007	52.64	52.27
n867b	n868	200	PEAD	15.98	41.67	1.33	0.007	52.27	51.87
n868	n868a	200	PEAD	17.78	41.67	1.33	0.007	51.87	51.34
n868a	n868b	200	PEAD	25.17	41.67	1.33	0.007	51.34	50.96
n868b	n869	200	PEAD	12.64	41.67	1.33	0.007	50.96	49.91
n869	n870	200	PEAD	25.5	41.67	1.33	0.007	49.91	46.62

Fuente: Propia.

Tabla 6.6 Información de tuberías (Montblanc 2).

NODO INICIAL	NODO FINAL	DIAMETRO (mm)	MATERIAL	LONGITUD (m)	CAUDAL (L/s)	VELOCIDAD (m/s)	GRADIENTE DE PÉRDIDAS (m/m)	PRESIÓN INICIAL (mca)	PRESIÓN FINAL (mca)
n902	n903	200	PEAD	11.76	41.67	1.33	0.007	61.08	63.11
n903	n904	200	PEAD	10.46	41.67	1.33	0.007	63.11	64.3
n904	n905	200	PEAD	11.24	41.67	1.33	0.007	64.3	63.39
n905	n906	200	PEAD	16.63	41.67	1.33	0.007	63.39	65.69
n906	n907	200	PEAD	17.76	41.67	1.33	0.007	65.69	66.3
n907	n908	200	PEAD	8.27	41.67	1.33	0.007	66.3	67.26
n908	n909	200	PEAD	13.61	41.67	1.33	0.007	67.26	64.11

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

NODO INICIAL	NODO FINAL	DIAMETRO (mm)	MATERIAL	LONGITUD (m)	CAUDAL (L/s)	VELOCIDAD (m/s)	GRADIENTE DE PÉRDIDAS (m/m)	PRESIÓN INICIAL (mca)	PRESIÓN FINAL (mca)
n909	n910	200	PEAD	9.12	41.67	1.33	0.007	64.11	65.09

Fuente: Propia.

6.9 SELECCIÓN DE VÁLVULAS VENTOSAS

El artículo 66 de la Resolución 330 de 2017, menciona que “*Las líneas de conducción y distribución deben contar con válvulas ventosas. Éstas se ubicarán en los sitios altos de la red, en cambios bruscos de pendiente de positiva a negativa, en tramos de tubería con pendiente constante y baja (< 3%), cada 300 m y en otras zonas en las que se considere necesario, de acuerdo con un análisis técnico. El diámetro mínimo de las ventosas debe ser de 25 mm. En todos los casos, el diámetro deberá calcularse para las condiciones particulares de cada proyecto*”.

Del Título B – Acueducto del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2011, se extrae que el diámetro mínimo será:

- Para tuberías con diámetro interno real menor o igual que 100 mm, el diámetro mínimo será de 50 mm.
- Para tuberías con diámetro interno real mayor que 100 mm, el diámetro mínimo de las ventosas será de 75 mm.

6.9.1 Vaciado de tuberías

Para el dimensionamiento de las ventosas se utilizarán los diagramas suministrados por el fabricante, entrando con el caudal de aire (Qa) y la presión diferencial de diseño (ΔH). Normalmente se toma una ΔH de 3.00 a 4.00 m.c.a para que se produzca el cierre en la válvula.

(*) La presión diferencial de diseño es la presión a la que el orificio queda obturado por el flotador produciéndose el cierre dinámico de la ventosa para evitar la salida de agua una vez expulsado el aire.

En tuberías por gravedad, el caudal de llenado viene determinado por la presión máxima por golpe de ariete que pueda soportar la instalación. Normalmente se toma como presión máxima un 0.75 de la presión nominal de la tubería o bien la presión nominal. El caudal de llenado, suponiendo que el agua se detenga de forma repentina al final de la conducción, vendrá determinado por la siguiente fórmula:

$$Q_a = \frac{\Delta_H * g * s}{a}$$

Donde:

Qa: Caudal de llenado de la conducción, igual al caudal de salida de aire (m3/s)

ΔH: Máxima presión positiva permitida (m.c.a), suelte tomarse un 75% de la presión de nominal de la tubería.

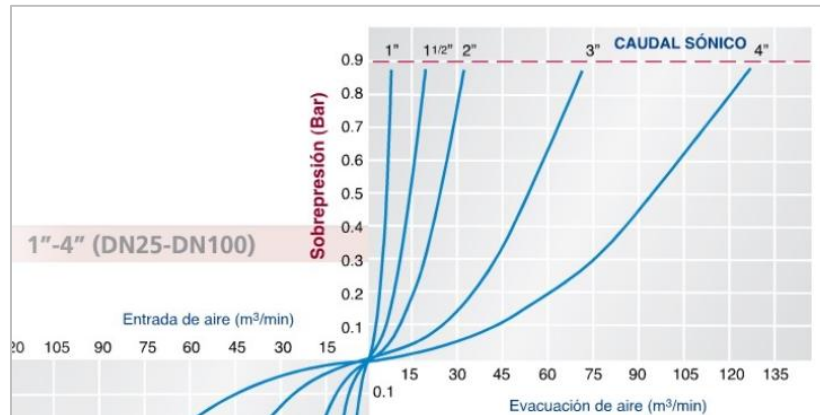
g: Fuerza de gravedad (m/s²)

s: Área de la tubería (m²)

a: Celeridad de onda (m/s)

Con el caudal de llenado (Q_a), ingresamos en la siguiente gráfica y obtenemos el diámetro recomendado para la válvula ventosa.

Figura 6.23 Curva característica evacuación de aire de válvulas ventosas.



Fuente: Hutech.es.

6.9.2 Llenado de tuberías

Para el dimensionamiento, se utilizarán las curvas suministradas por el fabricante para la admisión de aire por la ventosa. Se tomará generalmente una presión de diseño de 3.00 a 4.00 m.c.a. Cuando se abre la válvula de purga, la tubería se vacía por gravedad. El caudal máximo de drenaje por gravedad se puede calcular según la fórmula:

$$Q_v = (1.2916 \times 10^{-5}) \cdot C \cdot J^{0.54} \cdot D^{2.63}$$

Donde:

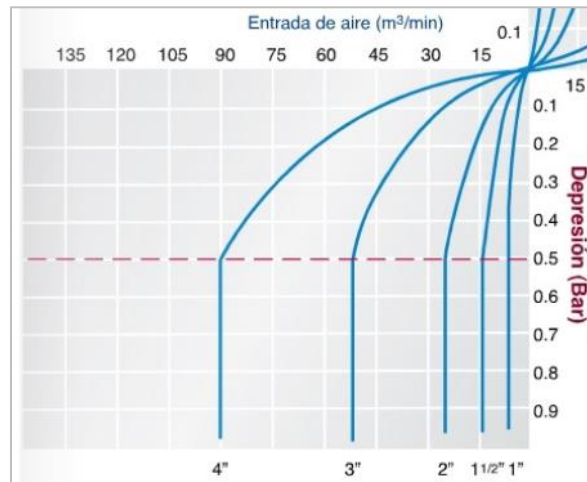
- Qv: Caudal debido a la gravedad (m³/h)
- J: Pendiente de la tubería (m/m)
- D: Diámetro de la tubería (mm)
- C: Coeficiente de pérdida (Hazen-Williams)

Se calculará teniendo como referencia la localización de las válvulas de purga y utilizando la pendiente promedio de dicha válvula de purga y la válvula ventosa más cercana.

A efectos prácticos se puede seleccionar el tamaño de las válvulas de vaciado como una parte del caudal máximo de drenaje en relación con el diámetro de las tuberías de los tramos de la conducción a evacuar, de tal forma que cumpla con las indicaciones de la siguiente tabla, siendo Q el caudal máximo de drenaje. Asimismo, se dan unos valores medios del tamaño de la válvula de drenaje según el diámetro de la conducción.

Una vez obtenido el caudal de llenado (Q_v), ingresamos en la siguiente gráfica y validamos el diámetro recomendado para la válvula ventosa.

Figura 6.24 Curva característica entrada de aire de válvulas ventosas.



Fuente: Hutech.es.

Nota: En el vaciado la red de acueducto, con presiones mayores de 4.70 m.c.a, no se producirá la admisión de aire debido al bloqueo del flotador de la válvula (límite marcado por la línea roja punteada). En el llenado de la red de acueducto, se recomienda realizar la operación con sobrepresiones no superiores a 3.50 m.c.a para evitar el bloqueo del flotador de la válvula.

En la siguiente tabla se presenta en cálculo de llenado y vaciado de la tubería para el dimensionamiento de las válvulas ventosas.

Tabla 6.7 Localización y dimensionamiento de válvulas ventosas.

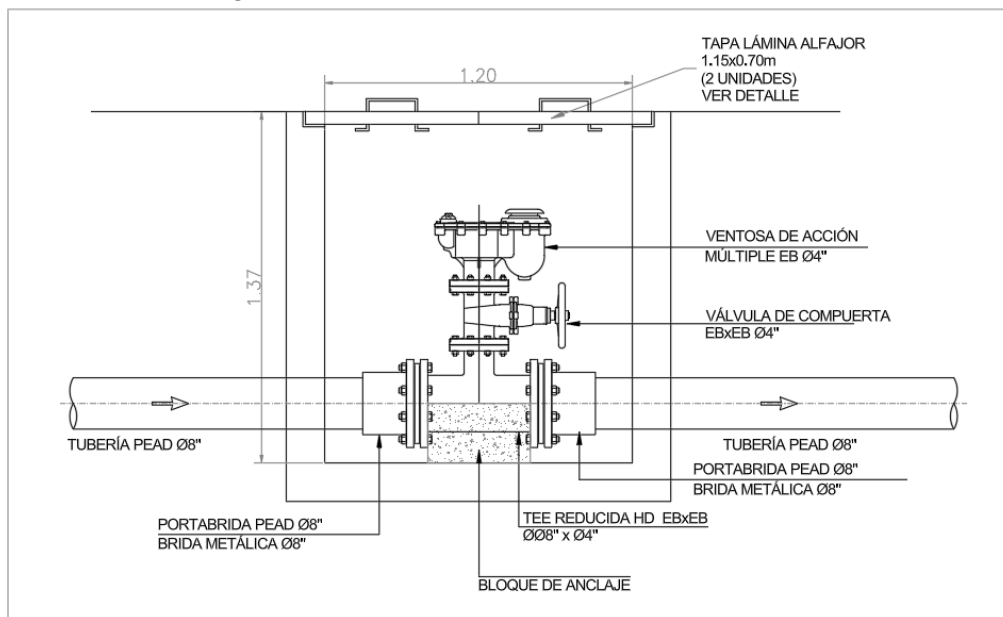
SECTOR.	ABSCISA	ELEVACIÓN	RESISTENCIA TUBERÍA (mca)	Qa (m³/min)	Qv (m³/min)	DIÁMETRO VENTOSA (")
Cominal 2	K4+780	1,784.53	160	0.90	0.46	4
Montblanc 1	K17+380	1,633.50	160	0.90	0.09	4
Montblanc 2	K19+960	1,640.79	160	0.90	0.09	4

Fuente: Propia.

Del análisis anterior se identifica, que el diámetro de ventosas resultante por calculo es de Ø4" para los sectores mencionados.

En la siguiente figura se presenta el detalle de instalación del componente mencionado.

Figura 6.25 Detalle de instalación de válvula ventosa.



Fuente: Propia.

6.10 CAJAS DE VÁLVULAS

Como lo menciona el artículo 68 de la Resolución 330 de 2017, “*Todas las válvulas que conformen un sistema de distribución de agua potable deben colocarse dentro de cajas cuya construcción se debe realizar en el mismo momento en que el tramo correspondiente sea colocado y aceptado por la persona prestadora del servicio público de acueducto*”.

Es por lo anterior que, para el presente estudio, tendremos una caja de válvulas tipo en concreto, de 0.80 x 0.80 m internos, con espesor de muros de 0.15 m. La profundidad promedio será de 1.10 m y serán localizadas a un costado de la vía pública, es decir no estarán sometidas a cargas externas de tráfico vehicular.

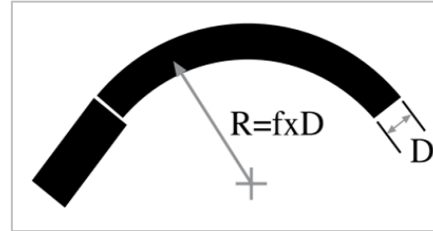
6.11 DEFLEXIONES

La deflexión en tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD) es un aspecto importante a considerar para garantizar la integridad y el buen funcionamiento de las tuberías en sistemas de acueducto. La deflexión se refiere a la deformación que sufre la tubería debido a la carga del terreno y otras fuerzas externas.

La tubería PEAD permite realizar curvas sin necesidad de accesorios, para lo cual se establecen radios mínimos que dependen del diámetro y el espesor de la tubería.

Tabla 6.8 Radios mínimos de curvatura.

PN	f	DIÁMETRO	RADIO MÍNIMO
		(mm)	(m)
16	15	160	2.40
16	15	200	3.00



Fuente: Manual Acuaflex - PAVCO.

La tubería debe ser instalada en brecha a una profundidad que varía entre 1.20m y 2.00m, por lo tanto en los tramos rectos la tubería queda suficientemente confinada y protegida contra el desplazamiento horizontal y vertical debido al grado de fricción que ejerce el suelo sobre su superficie externa, por lo anterior, esencialmente los anclajes se colocan en los cambios de dirección, para los cuales se definen codos de diferentes grados nominales, seguidamente se presenta el diseño de la cimentación para la instalación de tubería y el cálculo de los anclajes necesarios para restringir el movimiento de la acueducto en estos puntos.

6.12 ANCLAJES

El artículo 76 de la Resolución 330 de 2017, establece “En las líneas de aducción, conducción o redes de distribución, el diseño debe prever los anclajes de seguridad necesarios, ya sea en concreto (simple, reforzado o ciclópeo), metálicos o restrictores plásticos, de tal forma que se garantice la inmovilidad de la tubería en los siguientes casos:

1. En tuberías expuestas a la intemperie, que requieran estar apoyadas en soporte, o unidas a formaciones naturales de la roca (mediante anclajes metálicos).
2. En los cambios de dirección, tanto horizontal como vertical, de tramos enterrados o expuestos, siempre que el cálculo estructural de la tubería lo justifique.
3. En puntos de cambio de diámetro de la tubería o en dispositivos para el cierre o la reducción de flujo en tuberías discontinuas o donde se ubiquen accesorios”.

Los anclajes son estructuras en concreto, contruidos con el fin de contrarrestar los empujes producto de la presión del agua (empujes hidrostáticos) que se ejerce en los empalmes, cambios de diámetro y en los cambios de dirección, los cuales dependen del radio de curvatura o deflexión en el alineamiento de la tubería, la presión y el área de la sección de la tubería.

6.12.1 Cálculo de anclajes

Cuando la tubería está bajo presión interna, se presenta un empuje axial igual al producto de la presión del agua por el área de la sección de la tubería. Esta fuerza aparece igualmente en accesorios como codos, derivaciones o reducciones. En general estos empujes se producen siempre que la línea de la tubería cambia de dirección, se reduce de diámetro o tiene algún extremo cerrado. Para evitar que estos empujes puedan alterar la linealidad de la conducción debemos anclar la tubería en estos puntos críticos adosando normalmente un bloque o macizo de concreto.

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

Primero debemos de determinar el empuje que se produce en las diferentes piezas de la conducción.

El empuje en los codos viene dado por la fórmula:

$$E = 2 * \gamma * P_t * A * \sin \frac{\theta}{2}$$

Donde:

E: Empuje total expresado en kilogramos (entiéndase Kgf)

γ : Densidad del líquido transportado (Kg/m³)

P_t: Presión máxima de trabajo de la red de acueducto (m.c.a.)

A: Área de la sección del tubo (m²)

Φ : Ángulo del codo

El empuje en conos de reducción se calcula como:

$$E = \frac{P_t * \gamma * [\pi(DM^2 - Dm^2)]}{4}$$

Donde:

DM: Diámetro mayor (m)

Dm: Diámetro menor (m).

La resistencia prevista para el anclaje tiene dos componentes: una primera debida al peso del macizo de concreto, que viene expresada por la fórmula:

$$Rp = P * \tan \varphi = V * \gamma_h * \tan \varphi$$

Donde:

R_p: Resistencia al peso (kg)

P: Peso del anclaje (kg)

V: Volumen del bloque (m³)

γ_h : Peso específico del concreto (ton/m³)

Φ : Ángulo de rozamiento con el terreno (varía según tipo de suelo)

6.12.2 Localización y dimensiones de anclajes

En la siguiente tabla se muestra la localización y las dimensiones de los anclajes que se deben instalar para soportar los empujes generados dentro de la red de acueducto.

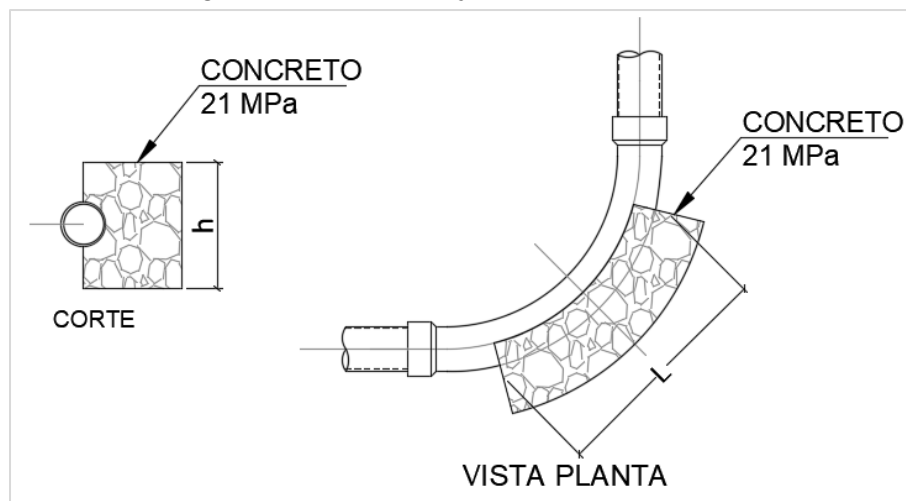
Tabla 6.9 Calculo de anclajes.

NODO	ABSCISA	ACCESORIO	DIÁMETRO (")	EMPUJE GENERADO (Kg)	L (cm)	H (cm)	EMPUJE RESISTENTE (Kg)	VOLUMEN TOTAL DE CONCRETO (m3)
n843	K1+325	Codo	8	1,832.50	125	50	2,100.44	0.32
n852	K1+400	Codo	8	1,562.80	125	50	2,100.44	0.32
n853a	K1+425	Codo	8	1,906.93	125	50	2,100.44	0.32
n867	K1+515	Codo	8	1,384.57	125	50	2,100.44	0.32
TOTAL CONCRETO								1.30

Fuente: Propia.

A continuación, se presenta el detalle del bloque de anclaje basados en las dimensiones calculadas.

Figura 6.26 Detalle anclaje de tubería en concreto.



Fuente: Propia.

Dentro de los anexos se presenta el detalle la ubicación y dimensionamiento de los anclajes de la red de acueducto proyectada.

6.13 PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA

El artículo 60 de la Resolución 330 de 2017, establece que la profundidad mínima a cota clave de las tuberías de acueducto para zona rural debe ser de 1.00 m, para tal efecto y considerando que la tubería de la red de acueducto del municipio se proyecta sobre vía pública, se recomienda una altura de lleno desde cota clave de 1.20 m, garantizando de esta manera su proyección contra cargas externas e impactos.

6.14 ANCHOS DE EXCAVACIÓN

Si bien la normatividad del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio no establece unos anchos de excavación obligatorios para la cimentación de tuberías, diferentes prestadores de servicios públicos como EPM, establecen en el documento NC-MN-OC03-01 - EXCAVACIONES, que *“El ancho mínimo de zanja aconsejable hasta la altura de la clave exterior de la tubería debe ser tal que permita la compactación apropiada del relleno a cada lado de la tubería y la movilización del personal que realiza la instalación, éste ancho en ningún caso debe ser menor de 0.70 m”*.

Para el presente proyecto teniendo en cuenta la profundidad de instalación definida, se adoptará un ancho de excavación de 1.00 a 1.20 m según las condiciones externas del sector.

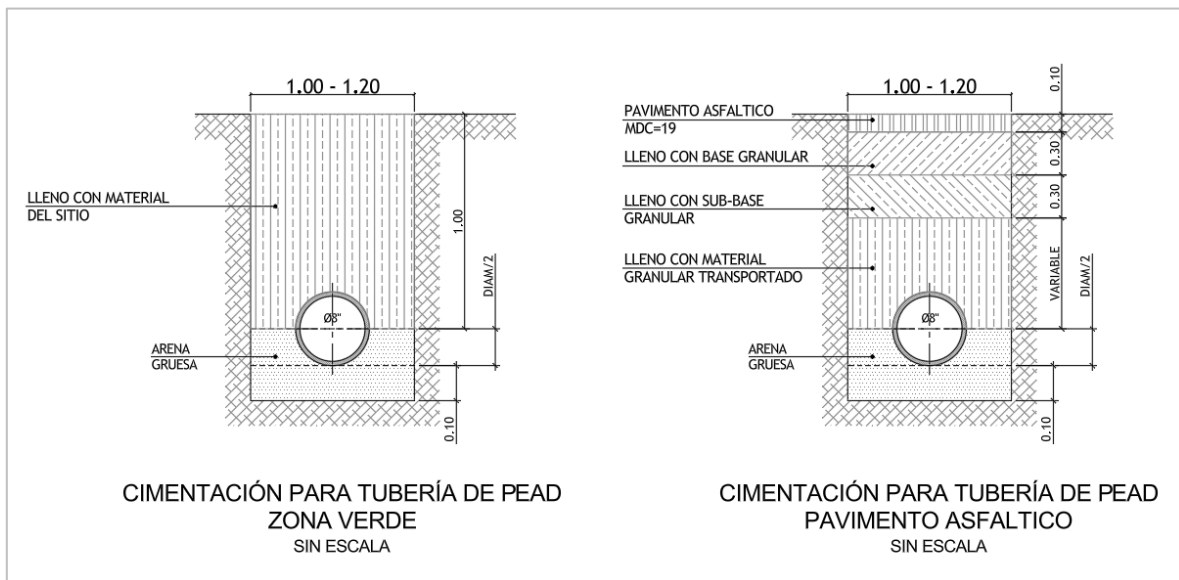
6.15 CIMENTACIÓN DE LA TUBERÍA

El material debe ser colocado y compactado hasta la mitad del diámetro para proveer un adecuado soporte lateral y evitar desplazamiento lateral y vertical de la tubería.

El material debe ser colocado en capas de 0.15 a 0.20 m compactadas de acuerdo con la especificación de diseño alternadamente en cada lado de la Tubería. El relleno en la parte baja de la Tubería debe hacerse con pisón de mano, el resto puede ser con pisón mecánico, pero teniendo cuidado de no tocar la tubería.

En la siguiente figura se presentan los diferentes modelos de cimentación según sea zona verde o zona vehicular.

Figura 6.27 Detalle de cimentación de tubería.



Fuente: Propia.

	OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ADUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE BALBOA, GENERADA POR LAS AFECTACIONES DE LA TEMPORADA INVERNAL	
	INFORME DE MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE ACUEDUCTO	

7 BIBLIOGRAFÍA

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018). *Infografía Pereira*. DANE.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 0330 de 2017 - Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)*. <https://www.minvivienda.gov.co>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). *Resolución 0799 de 2021 - Nuevo Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)*. <https://www.minvivienda.gov.co>
- Normas Técnicas Colombianas (ICONTEC). (2004). *Manual de fontanería: NTC 1500*.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (s.f.). *Título A - Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)*.