MEMORIA DE DISEÑO HIDRAULICO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN AL BARRIO SAN ANTONIO

NOMBRE DEL PROYECTO:

OPTIMIZACIÓN, ADECUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE EL CARMEN DE ATRATO - CHOCÓ MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) DE 20 LPS, EL MANTENIMIENTO DE LA PTAP EXISTENTE Y OBRAS COMPLEMENTARIAS

MUNICIPIO DEL CARMEN DE ATRATO

DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ

REPÚBLICA DE COLOMBIA

2025

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 4
2. POBLACIÓN 5
   2.1 MÉTODOS DE PROYECCIÓN 5
      2.1.1 Método aritmético 5
      2.1.2 Método geométrico 6
      2.1.3 Método exponencial 7
      2.1.4 Método de wappaus 7
   2.2 TASAS DE CRECIMIENTO 8
   2.3 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN 9
3. DEMANDA DE AGUA 10
   3.1 DEMANDA ACTUAL 10
   3.2 DEMANDA FUTURA 12
4. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO 13
   4.1 CONDUCCIÓN 13
      4.1.1 Caudal de diseño 13
      4.1.2 Velocidad 13
      4.1.3 Material 14
      4.1.4 Presiones internas 14
      4.1.5 Válvulas en aducciones y conducciones 15
      4.1.6 Modelo hidráulico 17
5. MEMORIA DE DISEÑO 18
   5.1 CAUDAL DE DISEÑO 18
   5.2 MATERIAL Y DIÁMETRO 18
   5.3 VELOCIDAD 20

5.4 CAUDAL DE INCENDIOS 21
5.5 LÍNEA PIEZOMÉTRICA 22
5.6 GOLPE DE ARIETE 23
5.7 MODELO HIDRÁULICO 24

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta el diseño hidráulico de la línea conducción que irá desde los tanques de almacenamiento de agua tratada hasta la tubería de alimentación existente del barrio San Antonio, haciendo un recorrido aproximado de 519 metros en tubería PEAD de 90 mm PN 10. En el recorrido se encuentran dos pasos elevados de 13 m de longitud que permiten el cruce de la tubería a través de dos quebradas.

Se describen los principios hidráulicos, cálculos, criterios de diseño, metodologías y normas de referencia utilizadas para el diseño de la conducción.

2. POBLACIÓN

Se estima que en el barrio San Antonio hay un total de 50 viviendas que representan una población de 225 habitantes al año 2025. A partir de este valor se realizará la proyección de la población beneficiaria en un horizonte de diseño de 25 años, utilizando las metodologías recomendadas por el RAS. Para determinar la tasa de crecimiento poblacional se utilizará la información histórica reportada por el DANE en la zona urbana de El Carmen de Atrato en el período 2005 – 2017.

***TABLA 1**. POBLACIÓN DEL CASCO URBANO 2005-2017.*

No	AÑO (T)	POBLACIÓN (P)
1	2005	2211
2	2006	2237
3	2007	2275
4	2008	2293
5	2009	2335
6	2010	2353
7	2011	2399
8	2012	2433
9	2013	2405
10	2014	2435
11	2015	2415
12	2016	2453
13	2017	2520

Fuente: DANE, 2018. Proyecciones de población municipal por área 1985-2017.

2.1 MÉTODOS DE PROYECCIÓN

Se calcularon las tasas a partir de los métodos recomendados por el RAS: Aritmético, Geométrico, Exponencial y Wappaus.

2.1.1 Método aritmético

La población aumenta linealmente, es decir, aumenta un valor fijo año tras año. La ecuación para el cálculo de la población proyectada es la siguiente:

$$P_f = P_{uc} + \frac{(P_{uc} - P_{ci})}{(T_{uc} - T_{ci})} * (T_f - T_{uc})$$

Donde:

P_f: Población proyectada al período de diseño.

P_{uc}: Población del último censo

P_{ci}: Población del censo inicial

T_{uc}: año correspondiente al último censo

T_{ci}: año correspondiente al censo inicial

T_f: año al cual se quiere proyectar la información

El método aritmético es un método meramente teórico y rara vez se da el caso de que una población presente este tipo de crecimiento (López-Cualla, 2004).

2.1.2 Método geométrico

El crecimiento es geométrico si el aumento de la población es proporcional a su tamaño. La ecuación empleada es la siguiente:

$$P_f = P_{uc} * (1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

Donde r es la tasa de crecimiento anual y las demás variables se definen igual que para el método anterior. La tasa r se calcula con la expresión:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)^{1/(T_{uc} - T_{ci})} - 1$$

Tal como están concebidos, los métodos geométrico y aritmético no tienen en cuenta la información censal disponible en los años intermedios, por lo tanto, es recomendable someter los resultados a un análisis de sensibilidad que consiste en ir cambiando el año inicial para obtener diferentes tasas de crecimiento y calcular una tasa representativa de la dinámica observada entre los datos censales.

2.1.3 Método exponencial

Se recomienda su uso en poblaciones que muestran un desarrollo apreciable y poseen abundantes áreas de expansión. La ecuación es la siguiente:

$$\boldsymbol{P_f = P_{ci} * e^{k(T_f - T_{ci})}}$$

La aplicación de este método requiere de por lo menos 3 censos para determinar un promedio de la tasa de crecimiento de la población. Despejando k de la ecuación anterior y reemplazando los subíndices *f* y *ci* se tiene:

$$\boldsymbol{k = \frac{lnP_{cp} - lnP_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}}$$

Donde,

P_{cp}: población del censo posterior

P_{ca}: población del censo anterior

T_{cp}: año del censo posterior

T_{ca}: año del censo anterior

2.1.4 Método de wappaus

Es un método poco común, pero de resultados confiables; sólo puede emplearse cuando el producto de la tasa de crecimiento *i* (%) por la diferencia entre el año de diseño y el año del censo inicial es menor a 200, es decir:

$$\boldsymbol{i * (T_f - T_{ci}) < 200}$$

La fórmula de proyección de la población con el método Wappaus es la siguiente:

$$\boldsymbol{P_f = P_{ci} * \frac{(200 + i * (T_f - T_{ci}))}{(200 - i * (T_f - T_{ci}))}}$$

La tasa de crecimiento *i* se calcula a partir de la expresión:

$$i = \frac{200 * (P_{uc} - P_{ci})}{(T_{uc} - T_{ci}) * (P_{uc} + P_{ci})}$$

El proceso de análisis de sensibilidad con el modelo de Wappaus es similar al de los métodos geométrico y aritmético. La diferencia consiste en que las tasas de crecimiento se evalúan dejando fija la información del censo inicial y variando los datos del último censo (López-Cualla, 2004).

2.2 TASAS DE CRECIMIENTO

En la siguiente tabla se presentan las tasas de crecimiento obtenidas por los cuatro (4) métodos evaluados. En la última fila se encuentra el valor promedio que será posteriormente utilizado para proyectar la población de diseño.

***TABLA 2**. TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL DE LA ZONA URBANA.*

METODO ARITMETICO			METODO GEOMÉTRICO			MET. EXPONENCIAL			METODO WAPPAUS		
Tci	**Tasa**	**Valor**	**Tci**	**Tasa**	**Valor**	**Tcp - Tca**	**Tasa**	**Valor**	**Tuc**	**Tasa**	**Valor**
2005	*to*	25.75	2005	r_o	0.0110	2005-2006	k_1	0.0117	2006	i_o	*1.1691*
2006	*t1*	25.73	2006	r_1	0.0109	2006-2007	k_2	0.0168	2007	i_1	*1.4267*
2007	*t2*	24.50	2007	r_2	0.0103	2007-2008	k_3	0.0079	2008	i_2	*1.2137*
2008	*t3*	25.22	2008	r_3	0.0105	2008-2009	k_4	0.0182	2009	i_3	*1.3638*
2009	*t4*	23.13	2009	r_4	0.0096	2009-2010	k_5	0.0077	2010	i_4	*1.2445*
2010	*t5*	23.86	2010	r_5	0.0098	2010-2011	k_6	0.0194	2011	i_5	*1.3594*
2011	*t6*	20.17	2011	r_6	0.0082	2011-2012	k_7	0.0141	2012	i_6	*1.3658*
2012	*t7*	17.40	2012	r_7	0.0071	2012-2013	k_8	-0.0116	2013	i_7	*1.0507*
2013	*t8*	28.75	2013	r_8	0.0117	2013-2014	k_9	0.0124	2014	i_8	*1.0714*
2014	*t9*	28.33	2014	r_9	0.0115	2014-2015	k_{10}	-0.0082	2015	i_9	*0.8820*
2015	*t10*	52.50	2015	r_{10}	0.0215	2015-2016	k_{11}	0.0156	2016	i_{10}	*0.9434*
2016	*t11*	67.00	2016	r_{11}	0.0273	2016-2017	k_{12}	0.0269	2017	i_{11}	*1.0886*
	t_{prom}	**30.2**		r_{prom}	**0.0125**		k_{prom}	**0.0109**		i_{prom}	**1.1816**

El método aritmético indica que en promedio la población del casco urbano crece a una tasa de 30.2 habitantes por año; sin embargo, este valor no puede ser utilizado para proyectar el crecimiento de la población objetivo (barrio San Antonio) pues corresponde a un área mayor. Los métodos geométrico y exponencial arrojaron respectivamente una tasa del 1.25 y 1.09% anual. Finalmente, wappaus arrojó una tasa de 1.1816/año.

2.3 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN

Se procede a proyectar el crecimiento poblacional de San Antonio en un período de 25 años a partir de las tasas obtenidas previamente (salvo la tasa del método aritmético).

***TABLA 3**. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN DE SAN ANTONIO EN UN HORIZONTE DE 25 AÑOS.*

Período de Diseño	Año de Proyección	POBLACIÓN PROYECTADA (N° habitantes)		
		Geométrico	Exponencial	Wappaus
		0.0125	0.0109	1.1816
0	2025	225	225	225
1	2026	228	227	228
2	2027	231	230	230
3	2028	234	232	233
4	2029	236	235	236
5	2030	239	238	239
6	2031	242	240	242
7	2032	245	243	244
8	2033	248	246	247
9	2034	252	248	250
10	2035	255	251	253
11	2036	258	254	256
12	2037	261	256	259
13	2038	264	259	262
14	2039	268	262	266
15	2040	271	265	269
16	2041	274	268	272
17	2042	278	271	275
18	2043	281	274	279
19	2044	285	277	282
20	2045	288	280	285
21	2046	292	283	289
22	2047	295	286	292
23	2048	299	289	296
24	2049	303	292	299
25	2050	307	295	303

En general, se observa que los métodos evaluados arrojaron resultados muy similares. Por su conveniencia y simplicidad de uso, se utilizarán los resultados del método geométrico el cual estima que la población de San Antonio alcanzará los 307 habitantes al año 2050, con una tasa de crecimiento del 1.25% anual.

3. DEMANDA DE AGUA

En esta sección se realiza una estimación de la demanda de agua actual y proyectada a un horizonte de 25 años.

El consumo es el volumen de agua utilizado por una persona y se expresa comúnmente en litros por habitante al día (L/hab*día). La determinación del consumo debe hacerse a partir de información histórica de la demanda, de datos estadísticos de poblaciones cercanas con similares características o asignar valores típicos para cada uso del agua (López-Cualla, 2004). En cualquier caso, la dotación neta no debe superar los valores máximos definidos en la resolución 0330 de 2017.

TABLA 4. DOTACIÓN NETA MÁXIMA SEGÚN LA ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR.

Altura promedio sobre el nivel del mar	Dotación Neta Máxima (L/hab*día)
>2.000 m.s.n.m	120
1.000 – 2.000 m.s.n.m	130
<1.000 m.s.n.m	140

Fuente: art. 43 de la resolución 0330 de 2017.

Teniendo en cuenta que la población de San Antonio se encuentra en el segundo rango altitudinal (1000 – 2000 msnm), se utilizará la dotación neta máxima de **130 L/hab*día**.

3.1 DEMANDA ACTUAL

Asumiendo un porcentaje de pérdidas del 25% se calculará el caudal demandado por el sistema en el año 2025:

***TABLA 5**. CÁLCULO DE LA DEMANDA DE AGUA AL AÑO 2025.*

1	**Dotación bruta**	**Cálculo**
	La dotación bruta para el diseño de cada uno de los componentes que conforman un sistema de acueducto se debe calcular conforme a la siguiente ecuación: $$d_{bruta} = d_{neta}/(1 - \%p)$$ Donde %p es el porcentaje de pérdidas técnicas. Para efectos de diseño se asume un 25%.	$d_{bruta} = 130/(1 - 0.25)$ $d_{bruta} = 173.3\ l/hab/dia$
2	**Caudal medio diario (Qmd)**	**Cálculo**
	Es el consumo promedio diario de agua en un período de un año. Se calcula con la siguiente expresión: $$Qmd = \frac{P_d * d_{bruta}}{86.400}$$ Donde Pd representa la población (N° habitantes).	$P_d = 225\ hab$ $Qmd = \frac{225 * 173.3}{86.400}$ $Qmd = 0.5\ l/s$
3	**Caudal máximo diario (QMD)**	**Cálculo**
	Corresponde al consumo máximo de agua que se puede presentar en un día. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario k_1, así: $$QMD = Qmd * k_1$$ Para poblaciones menores a 12.500 habitantes $k_1 = 1.3$	$QMD = 0.5 * 1.3$ $QMD = 0.6\ l/s$
4	**Caudal máximo horario (QMH)**	**Cálculo**
	Es el volumen máximo de agua que se consume durante una hora sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula con la siguiente expresión: $$QMH = QMD * k_2$$ Para poblaciones menores a 12.500 habitantes $k_2 = 1.6$	$QMH = 0.6 * 1.6$ $QMH = 0.9\ l/s$

En el año 2025, el caudal medio diario (Qmd) demandado por la población de San Antonio equivale a 0.5 l/s, mientras que el caudal máximo diario (QMD) puede llegar a 0.6 l/s y el caudal máximo horario (QMH) a 0.9 l/s.

3.2 DEMANDA FUTURA

A continuación, se realiza la proyección de la demanda de agua a un horizonte de 25 años teniendo en cuenta un crecimiento poblacional estimado con el método geométrico.

TABLA 6. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA 2025 - 2050.

Período	Año	Población Atendida	Dotación neta	Dotación Bruta	Qmd	QMD	QMH
		N° Hab.	L/hab*día	L/hab*día	l/s	l/s	l/s
0	2025	225	130	173.3	0.5	0.6	0.9
1	2026	228	130	173.3	0.5	0.6	1.0
2	2027	231	130	173.3	0.5	0.6	1.0
3	2028	234	130	173.3	0.5	0.6	1.0
4	2029	236	130	173.3	0.5	0.6	1.0
5	2030	239	130	173.3	0.5	0.6	1.0
6	2031	242	130	173.3	0.5	0.6	1.0
7	2032	245	130	173.3	0.5	0.6	1.0
8	2033	248	130	173.3	0.5	0.6	1.0
9	2034	252	130	173.3	0.5	0.7	1.0
10	2035	255	130	173.3	0.5	0.7	1.1
11	2036	258	130	173.3	0.5	0.7	1.1
12	2037	261	130	173.3	0.5	0.7	1.1
13	2038	264	130	173.3	0.5	0.7	1.1
14	2039	268	130	173.3	0.5	0.7	1.1
15	2040	271	130	173.3	0.5	0.7	1.1
16	2041	274	130	173.3	0.6	0.7	1.1
17	2042	278	130	173.3	0.6	0.7	1.2
18	2043	281	130	173.3	0.6	0.7	1.2
19	2044	285	130	173.3	0.6	0.7	1.2
20	2045	288	130	173.3	0.6	0.8	1.2
21	2046	292	130	173.3	0.6	0.8	1.2
22	2047	295	130	173.3	0.6	0.8	1.2
23	2048	299	130	173.3	0.6	0.8	1.2
24	2049	303	130	173.3	0.6	0.8	1.3
25	**2050**	**307**	**130**	**173.3**	**0.6**	**0.8**	**1.3**

Se estima que, en el año 2050, el caudal medio diario (Qmd) que demandará la población de San Antonio será de 0.6 l/s, mientras que el caudal máximo diario (QMD) puede llegar a 0.8 l/s y el caudal máximo horario (QMH) a 1.3 l/s.

4. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO

4.1 CONDUCCIÓN

4.1.1 Caudal de diseño

La conducción deberá ser capaz de transportar el caudal máximo que puede ser demandado por la red en la hora de mayor consumo; por lo tanto, el caudal de diseño será el QMH al final del período de diseño (QMH = 1.3 l/s).

4.1.2 Velocidad

El art. 56 de la resolución 0330 de 2017 establece que la velocidad mínima en los sistemas de aducción y conducción debe ser de 0.5 m/s. Shammas y Wang (2016) en el *Water Engineering: Hydraulics, Distribution and Treatment* señala que la velocidad depende de las características del agua transportada y de la magnitud de los transientes hidráulicos; así para aguas con limos existe un límite inferior y superior para la velocidad, mientras que para agua limpia sólo existe límite superior. La velocidad mínima para prevenir la deposición de los limos cae en el rango de 0.60 – 0.75 m/s.

La velocidad máxima no debe causar erosión de las paredes de la tubería ni poner en peligro el conducto por un golpe de ariete excesivo cuando se cierra una válvula rápidamente; la velocidad máxima usualmente está en el rango de 1.2 a 1.8 m/s, aunque el valor máximo admisible puede ser de 3 a 6.1 m/s para la mayoría de los materiales en que se fabrican las tuberías (Shammas y Wang, 2016).

4.1.3 Material

Los materiales de las tuberías de conducción usadas en Colombia pueden ser de Acero, Concreto reforzado con o sin cilindro de acero (CCP), Poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP), Hierro dúctil (HD), Polietileno de alta densidad (PEAD), Policloruro de Vinilo (PVC y PVCO). La elección del material se realiza con base en las condiciones particulares del proyecto, los costos de inversión inicial y mantenimiento a largo plazo, así como la seguridad y vulnerabilidad (RAS Sección II Título B).

Las características de los distintos materiales se deben consultar en los catálogos del fabricante, importador o comercializador, los cuales deberán estar siempre actualizados.

4.1.4 Presiones internas

El art. 15 de la resolución 799 de 2021 por medio de la cual se modificó el RAS (Resolución 0330 de 2017) señala lo siguiente con relación a la presión que debe ser capaz de soportar la tubería: “La tubería seleccionada deberá soportar la sumatoria de las presiones dinámicas y la máxima sobrepresión ocurrida por causas de un fenómeno de golpe de ariete, esto afectado por un factor de seguridad que dependerá del tipo de sistema: 1,3 para sistemas por bombeo y 1,1 para sistemas por gravedad”.

$$P_{diseño} = k * \sum Presión\ dinámica; Sobrepresión\ por\ Golpe\ de\ ariete$$

Donde,

k = factor de seguridad (k = 1.1 para conducciones por gravedad; k = 1.3 para conducciones por bombeo).

La presión nominal de trabajo de la tubería y todos sus accesorios deber ser mayor que la presión de diseño calculada (Pdiseño).

4.1.5 Válvulas en aducciones y conducciones

Las válvulas que deben utilizarse en la conducción, ya sea a gravedad o por bombeo, deben responder a las necesidades particulares del proyecto, verificando que tengan un comportamiento adecuado respecto a la cavitación.

- ***Válvulas de corte***

Las válvulas de corte o cierre se deben colocar al comienzo de la conducción y al final de la misma si la presión es mayor que 50 mca. Se debe evaluar la necesidad de instalar válvulas de corte intermedias a lo largo de la conducción y justificar su utilización. El diámetro de la válvula debe ser igual al de la tubería de conducción y se debe evaluar la cavitación en el caso de altas velocidades de flujo.

- ***Válvulas de ventosa***

Se colocan en los puntos altos, en cambios bruscos de pendiente de positiva a negativa, en tramos de tubería de pendiente constante y baja (<3%) y en otras zonas donde se considere necesario de acuerdo con el análisis técnico. El diámetro mínimo de la ventosa es de 25 mm, pero en todos los casos este se calcula para las condiciones particulares del proyecto (art. 66, Res. 0330 de 2017).

Se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones establecidas en el RAS Sección II, Título B, Sistemas de Acueducto:

- Cuando la tubería tenga una pendiente constante se deben instalar ventosas cada 300 metros.

- Podrá utilizarse una ventosa única para atender la entrada y la salida de aire, siempre y cuando dicho dispositivo sea capaz de atender ambas funciones.

- Preferiblemente las válvulas de ventosa deben ser bridadas según las especificaciones de la norma AWWA y con cuerpo fundido en hierro dúctil.

- Los diámetros mínimos de las ventosas son los siguientes:

***TABLA 7**. DIÁMETROS INTERNOS MÍNIMOS DE UNA VENTOSA EN LÍNEAS DE CONDUCCIÓN.*

Diámetro Interno de la Conducción (mm)	Diámetro mínimo de la ventosa (mm)
< 100	50
> 100	75

- El diseño y ubicación de las válvulas ventosa se debe hacer de forma integrada con el de las válvulas de purga.

- Toda válvula ventosa debe poder aislarse de la tubería principal mediante una válvula de corte.

- Cada ventosa debe estar protegida por una cámara de inspección accesible, con su respectivo drenaje de aguas y los respiraderos necesarios para garantizar el flujo de aire y estar completamente asegurada.

- Deben disponerse puntos intermedios para la entrada de aire en la tubería cuando la línea piezométrica correspondiente a la carga de un tramo del conducto durante operaciones de mantenimiento y/o reparación, se sitúe por debajo de éste, de forma tal que cause problemas de discontinuidad en la columna líquida o problemas de posible colapso de la tubería por aplastamiento.

En el caso que exista una válvula intermedia en la conducción, ésta debe estar dotada de un paso lateral (by pass) de tal manera que permita el flujo de aire hacia la ventosa.

- ***Válvulas de purga o desagüe***

Se colocan en los puntos bajos de la conducción o cada 350 metros. Se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- La descarga debe permitir la eliminación total del agua contenida en la tubería de conducción.

- Se recomienda que el diámetro de la tubería de desagüe esté entre 1/3 y 1/4 del diámetro de la tubería principal, con un mínimo de 100 mm para tuberías mayores

que 100 mm. Para diámetros menores debe adoptarse el mismo diámetro de la tubería principal.

- Si la velocidad de salida de la válvula de purga es mayor que 3 m/s se debe colocar una estructura de disipación de energía y hacer un estudio de la cavitación.

- El dimensionamiento de la descarga debe realizarse teniendo en cuenta los siguientes puntos:

a) La obtención de una velocidad mínima que sea compatible con la remoción del material sedimentado y las biopelículas en el interior de la tubería, durante por lo menos el primer minuto de descarga.

b) Que el tiempo máximo para descarga sea impuesto por las condiciones de operación.

c) El caudal máximo permitido por el sistema de recepción del agua descargada.

4.1.6 Modelo hidráulico

El diseño incluye la modelación matemática del sistema de forma que permita entender la hidráulica para cualquier condición de operación o cualquier condición de emergencia que se presente durante la vida útil del proyecto. Para ello se utiliza un programa de análisis de redes de acueducto basado en la fórmula de fórmula de Hazen & Williams, teniendo en cuenta su rango de validez, ó en el uso del método del gradiente en conjunto con las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Colebrook-White.

En este trabajo se hará uso del software de uso libre Epanet.

5. MEMORIA DE DISEÑO

En la siguiente tabla se presentan los datos de entrada para el diseño y modelación de la línea de conducción.

TABLA 8. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA.

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Temperatura	T	20	°C
Densidad	ρ_a	998.23	Kg/m3
Viscosidad cinemática	ν	1.0105E-02	cm2/s

5.1 CAUDAL DE DISEÑO

Se utiliza como referencia el caudal máximo horario (QMH) al final del período de diseño, equivalente a 1.3 l/s. Este valor sirve como referencia inicial para el dimensionamiento de la tubería de conducción, sin embargo, la línea deberá ser capaz de transportar el QMH más la provisión en caso de incendios.

La resolución 0330 de 2017 (art. 70) señala lo siguiente: "*Para sistemas con poblaciones de diseño menores de 12.500 habitantes, los hidrantes deben instalarse en tuberías con capacidad de conducir al menos 5 l/s y deben descargar como mínimo un caudal de 5 l/s…*". Por lo tanto, la línea de conducción deberá ser capaz de transportar el QMH más el caudal de incendio, lo que suma 6.3 l/s.

5.2 MATERIAL Y DIÁMETRO

Se utilizará tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) debido a su flexibilidad, facilidad de instalación y menor requerimiento de accesorios y uniones en comparación a otros materiales como el PVC (en pequeños diámetros), y por ende menor riesgo de fugas.

TABLA 9. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA.

Característica	Símbolo	Valor	Unidad
Longitud	L	518.88	m

Material	-	PEAD	-
Rugosidad absoluta	Ks	0.007	mm
Pérdidas menores	∑Km	44.31	Adim.
Cota Inicio (losa tanques)	Z1	1850.34	msnm
Cota Fin (clave de tubería)	Z2	1822.00	msnm

Teniendo en cuenta que el caudal es relativamente pequeño, el diámetro se escoge entre los diámetros comerciales más pequeños disponibles para el PEAD (50, 63, 75, 90 y 110). En la **Tabla 10** se muestra el cálculo de las pérdidas de energía con el **caudal nominal** de **1.3 l/s** para los diferentes diámetros evaluados, utilizando el diámetro interno real y una **rugosidad absoluta** para el **PEAD de 0.007 mm** (RAS Sección II Título B).

La sumatoria global del coeficiente de pérdidas menores (∑**Km**) fue de **44.31**, el cual resulta de considerar los cambios de dirección, válvulas y accesorios instalados a lo largo de la línea. En la sumatoria se tuvieron en cuenta aquellos cambios de dirección menores de 45° que se prevén en el recorrido (6°, 11.25°, 22.5°, 33.75°), aunque estos no representan accesorios reales gracias a la flexibilidad del polietileno. No obstante, su efecto hidráulico en la generación de pérdidas locales se incluyó dentro del coeficiente ∑Km. En la construcción sólo se utilizarán codos de 45° y 90° en puntos específicos del recorrido que así lo requieran.

TABLA 10. CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA CONDUCCIÓN PARA Q=1.3 L/S.

	Opc.1	**Opc.2**	**Opc.3**	**Opc.4**	**Opc.5**
D. Nominal (mm)	50	63	75*	90	110
Diámetro interno (m)	0.0452	0.0554	0.06618	0.0792	0.0968
Longitud (m)	518.88	518.88	518.88	518.88	518.88
∑Km	44.31	44.31	44.31	44.31	44.31
Rugosidad Ks (m)	0.000007	0.000007	0.000007	0.000007	0.000007
Area (m2)	0.0016046	0.002410513	0.003439881	0.00492652	0.007359369
Velocidad (m/s)	0.810170828	0.539304373	0.37792006	0.263877954	0.176645572
$V^2/2g$ (m)	0.033454474	0.014824119	0.007279489	0.00354901	0.001590401
Reynolds Re	36619.72142	29877.46224	25010.74959	20899.13394	17099.29141
Factor de Fricción (*f*)	0.022881692	0.02384539	0.024777665	0.025803757	0.027051706
Pérd. Fricción (hf)	8.79	3.31	1.41	0.60	0.23

Pérd. Menores (hm)	1.48	0.66	0.32	0.16	0.07
Alt. Estática (H_T)	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34
Presión dinámica (m)	18.07	24.37	26.60	27.58	28.04

En todas las alternativas evaluadas la presión dinámica al final de la línea de conducción cumple con el límite mínimo de 10 mca para poblaciones menores a 12.500 habitantes (Art. 61, resolución 0330/17). Sin embargo, es necesario descartar las primeras 3 alternativas ya que según el art. 63 de la resolución 0330/17, el diámetro interno real mínimo en la red de distribución no debe ser inferior a 75 mm para sectores urbanos.

Las opciones restantes (90 y 110 mm) generan una presión dinámica muy similar (27.58 y 28.04 mca, respectivamente) por lo que se escoge la opción 4 de 90 mm ya que el costo de suministro es inferior.

Se utilizará tubería de polietileno PE 100 / PN 10 DN 90 mm con diámetro interno real de 79.2 mm.

5.3 VELOCIDAD

La velocidad promedio en la tubería seleccionada es de 0.26 m/s (**Tabla 9**), lo cual es inferior al valor mínimo señalado en el RAS de 0.5 m/s para conducciones nuevas a gravedad. La velocidad de flujo es inversamente proporcional al diámetro del conducto al cuadrado; dicho de otra forma, a mayor diámetro menor velocidad para un mismo caudal. Por lo que se tendría que reducir el diámetro de la conducción para conseguir un aumento de la velocidad; no obstante, la norma exige un diámetro mínimo de 75 mm para sectores urbanos, lo cual obliga a mantener la alternativa seleccionada (DN 90 mm).

5.4 CAUDAL DE INCENDIOS

Se realizó un chequeo de las pérdidas de energía en la conducción con el QMH más el caudal de incendios (condición más crítica equivalente a 6.3 l/s) para determinar si la línea es capaz de transportar el caudal total manteniendo una presión dinámica adecuada. A modo de referencia, se muestran los cálculos para todos los diámetros evaluados.

TABLA 11. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA CONDUCCIÓN PARA Q = 6.3 L/S.

	Opc.1	**Opc.2**	**Opc.3**	**Opc.4**	**Opc.5**
D. Nominal (mm)	50	63	75*	90	110
Diámetro interno (m)	0.0452	0.0554	0.06618	0.0792	0.0968
Longitud (m)	518.88	518.88	518.88	518.88	518.88
∑Km	44.31	44.31	44.31	44.31	44.31
Rugosidad Ks (m)	0.000007	0.000007	0.000007	0.000007	0.000007
Area (m2)	0.0016046	0.002410513	0.003439881	0.00492652	0.007359369
Velocidad (m/s)	3.926212473	2.613551959	1.831458754	1.278793161	0.85605162
$V^2/2g$ (m)	0.785685239	0.348147495	0.170960304	0.083349233	0.037350886
Reynolds Re	177464.8038	144790.7786	121205.9403	101280.4183	82865.79682
Factor de Fricción (*f*)	0.017097775	0.01747995	0.017904397	0.018410435	0.019059663
Pérd. Fricción (hf)	154.21	57.00	24.00	10.05	3.82
Pérd. Menores (hm)	34.81	15.43	7.58	3.69	1.66
Alt. Estática (H_T)	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34
Presión dinámica (m)	-160.69	-44.08	-3.23	14.59	22.87

Se ratifica que no es posible utilizar los diámetros de 50, 63 y 75 mm ya que generan presiones negativas. En la práctica esto significa que tales diámetros no son capaces de transportar el caudal total requerido en la condición de incendios teniendo en cuenta la altura estática disponible.

Los resultados muestran que la conducción de 90 mm permite transportar el caudal total de 6.3 l/s manteniendo una presión dinámica de 14.59 mca al final de la línea, lo que se considera adecuado.

5.5 LÍNEA PIEZOMÉTRICA

En el siguiente gráfico se presenta la línea piezométrica de la conducción donde se observa además la ubicación de las purgas y ventosas a lo largo del perfil.



Se observa que se requieren un total de **8 ventosas trifuncionales** que combinan la función de admisión/expulsión de aire durante el vaciado/llenado de la tubería, junto con la purga automática de pequeñas cantidades liberadas durante la operación normal de la línea.

Adicionalmente se proyectan **2 válvulas de purga** en puntos bajos del sistema con el fin de permitir el vaciado y/o limpieza de la conducción en caso necesario.

5.6 GOLPE DE ARIETE

En la siguiente tabla se presenta el cálculo global del golpe de ariete:

TABLA 12. CÁLCULO DEL GOLPE DE ARIETE.

PARÁMETRO	SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
CELERIDAD EQUIVALENTE	Ce	241.69	m/s
VELOCIDAD EQUIVALENTE	Ve	0.26	m/s
PERIODO	T	4.29	s
TIEMPO DE PARADA	Tp	1	s
TIEMPO DE CIERRE		Cierre Rápido	
FÓRMULA A APLICAR		Alievi	
GOLPE DE ARIETE		**6.5**	mca

El art. 15 de la resolución 799 de 2021 por medio de la cual se modificó el RAS (Resolución 0330 de 2017) señala lo siguiente con relación a la presión que debe ser capaz de soportar la tubería: "*La tubería seleccionada deberá soportar la sumatoria de las presiones dinámicas y la máxima sobrepresión ocurrida por causas de un fenómeno de golpe de ariete, esto afectado por un factor de seguridad que dependerá del tipo de sistema: 1,3 para sistemas por bombeo y 1,1 para sistemas por gravedad*".

En este caso la presión máxima durante un fenómeno transitorio se espera en el punto K0+125.67 (el punto más bajo del recorrido) con una presión máxima de 38.86 mca, que afectada por factor de 1.1 para sistemas a gravedad arroja una presión de diseño de 42.7 mca. Por lo tanto, la presión nominal de la tubería deberá ser capaz de soportar este valor.

Se utilizará tubería de polietileno PN 10 que soporta una presión nominal de 10 bares que equivalen a 100 mca.

5.7 MODELO HIDRÁULICO

El modelo hidráulico de la conducción se elaboró en el software Epanet versión 2.2, el cual puede ser consultado en los ANEXOS del presente documento.

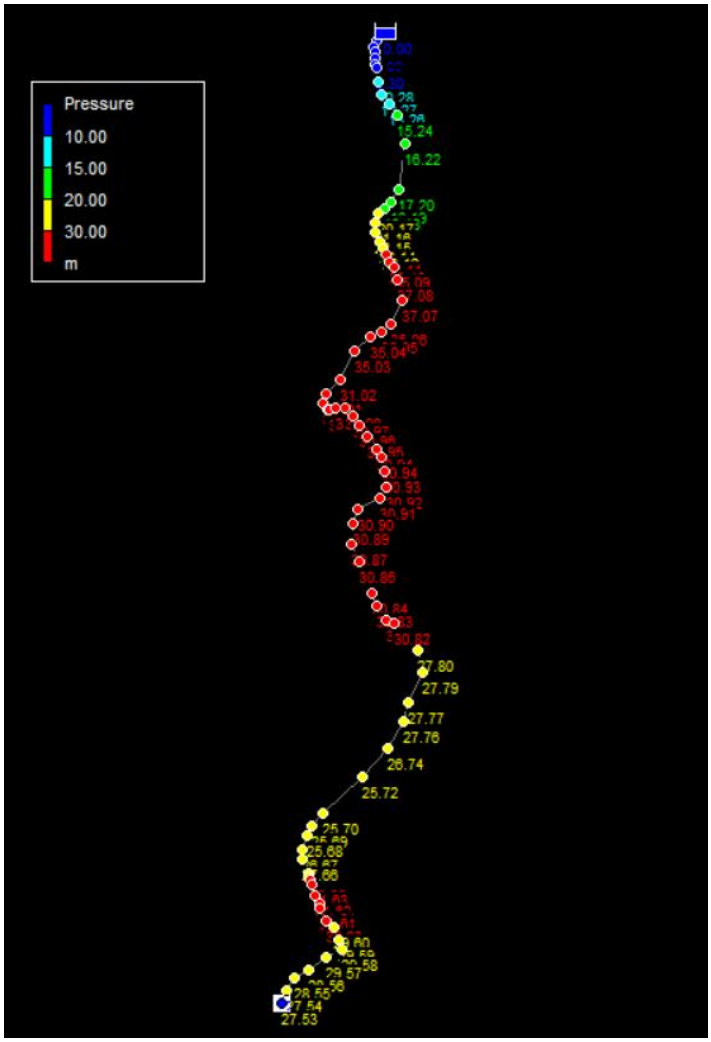

FIGURA 1. MODELO HIDRÁULICO DE LA CONDUCCIÓN EN EPANET.

DISEÑADO POR:



ING. CRISTIAN DEMOYA GARCÉS
TP 22238-344447 COR
INGENIERO AMBIENTAL
ESP. PROYECTOS DE DESARROLLO
DISEÑADOR

Declaración de uso y responsabilidad:

El solicitante o propietario tiene licencia para usar este diseño sólo en una unidad. El diseñador es responsable únicamente del diseño hidráulico de los componentes, equipos y/o unidades referidas explícitamente en el informe; no se hace responsable de estudios o diseños estructurales, eléctricos, mecánicos, arquitectónicos, topográficos, hidrológicos o de cualquier otra índole. Es responsabilidad del propietario y/o contratista constructor garantizar las dimensiones, calidad y resistencia de los materiales previstas en las rutinas de análisis y diseño hidráulico; así como de la correcta ejecución del proceso constructivo siguiendo las exigencias de las normas técnicas aplicables.