



7. OPERACION ACTUAL Y REDISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS

En el presente capítulo se verificará la situación del funcionamiento tanto actual (año 2013) como futuro (año 2038) del sistema de acueducto. Por lo tanto, dado el caso que alguna o varias de las estructuras actuales no posea la capacidad necesaria y suficiente para contribuir a la prestación efectiva y eficiente del servicio de acueducto, se llevará a cabo su respectivo rediseño.

En el Capítulo 6 se comprobó la capacidad actual de los ríos Ilá y Perucho, lo cual permite afirmar que la cantidad de agua que suministran esos ríos es suficiente para abastecer al total de la población que se ha proyectado hasta el año 2038.

Es importante para el presente capítulo aclarar que el Acueducto del municipio de La Vega cuenta con estructuras independientes de captación para los ríos Ilá y Perucho, sin embargo como se mencionó en el capítulo tres, en la cámara de quiebre 2 de la tubería de conducción de río Perucho el caudal que está siendo conducido se fracciona, una parte hacia la tubería de conducción del río Ilá, y la parte restante continua su curso hacia la PTAP.

Para el presente capítulo se tendrá en cuenta lo manifestado por los funcionarios de la empresa de Acueducto del municipio, quienes indicaron que en épocas de sequía solo se logra captar agua del río Ilá ya que en el río Perucho el caudal disminuye ya que es inferior al consumido; es por ello que las estructuras hidráulicas que captan agua del río Perucho actúan como soporte del río Ilá.

El acueducto actualmente desconoce el caudal que aporta cada bocatoma de manera independiente ya que no cuentan con medidores, sin embargo el acueducto, suministró soporte escrito (Anexo 7), en el cual registra el caudal de entrada promedio a la PTAP aportado por las dos bocatomas existentes, cuyo valor es de 42,00 L/s.



Luego del ingreso del agua a la PTAP, se trata en promedio un caudal de 35,5 L/s (Anexo 7), es decir que actualmente se presentan pérdidas de 15,4%. Cabe resaltar que las pérdidas que se presentan actualmente en la PTAP deben ser controladas, con el fin de disminuirlas hasta un valor máximo permitido de 5% respecto al caudal de entrada, como lo establece la norma RAS 2000 en el Título B⁴⁹.

Para las estructuras hidráulicas del sistema tales como bocatomas, tuberías de aducción, desarenadores y tubería de conducción, se realizarán las verificaciones operacionales de las mismas, con el fin de conocer su estado actual de funcionamiento.

Los cálculos que se presentan a continuación están sustentados en la “Norma Ras 2000”⁵⁰ y en los datos recopilados durante el desarrollo del proyecto. Además, se utilizó como texto guía el libro “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados” de Ricardo Alfredo López Cualla.⁵¹

7.1 CALIDAD DE AGUA TRATADA

Adicionalmente cabe resaltar que el Acueducto suministro información sobre la calidad del agua tratada (Anexo 8) en el cual se observa que cumple a cabalidad con la Norma RAS 2000⁵², como se observa a continuación:

Tabla 77, Valores admisibles de agua tratada según Norma RAS 2000

VALORES ADMISIBLES NORMA RAS 2000	<2	<10	6,0-8,5	<160	<0,3	<100
VALORES OBTENIDOS	0,31	0,36	7,23	74,36	0,04	52,20
CUMPLE	SI	SI	SI	SI	SI	SI
NIVELDE CALIDAD	FUENTE ACEPTABLE	FUENTE ACEPTABLE	FUENTE ACEPTABLE	FUENTE ACEPTABLE	FUENTE ACEPTABLE	FUENTE ACEPTABLE

⁴⁹Ibid., p.36.

⁵⁰COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000: “Título B- sistemas de acueducto”, Bogotá D.C.: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo económico, 2000.

⁵¹LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfonso. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados: Consumo de agua. Segunda edición. Bogotá D.C. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. 56 p.

⁵²COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000: “Título B- sistemas de acueducto”, Bogotá D.C.: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo económico, 2000. p 44.



Los datos presentados en la tabla 77, permiten aclarar que de acuerdo con los requisitos no se requiere tratamiento diferente al agua y se recomienda continuar con el mismo procedimiento.

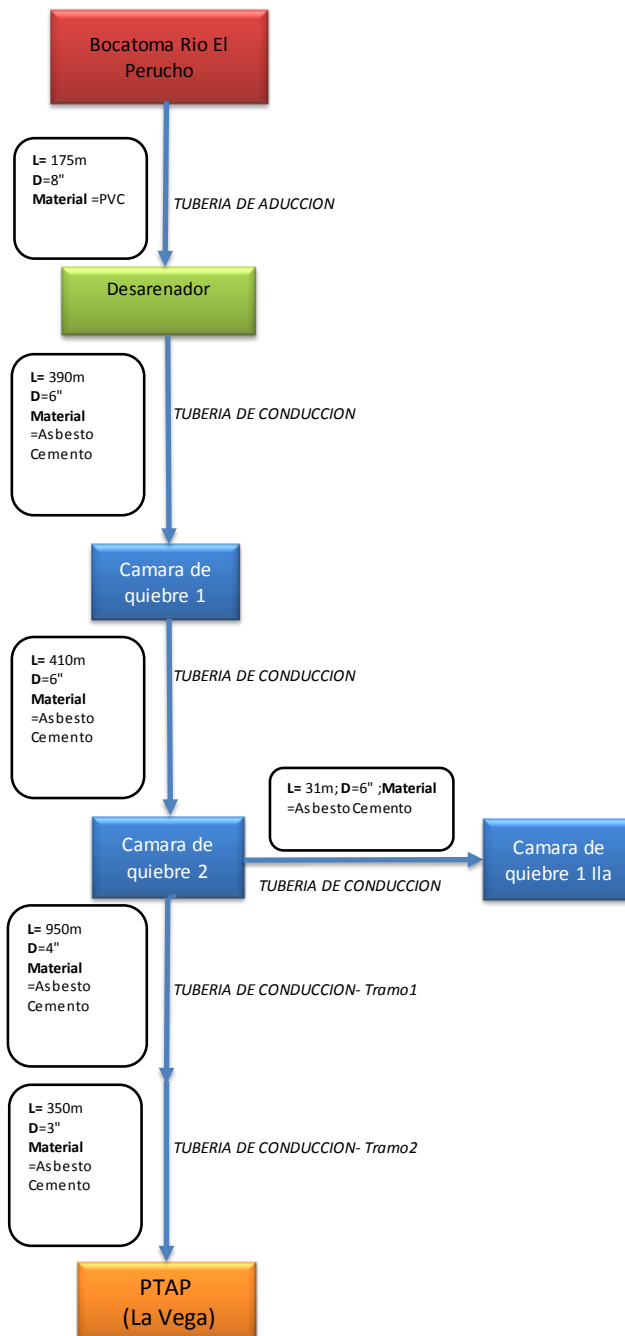
Los valores utilizados en la presente comprobación fueron tomados durante las diferentes visitas que se realizaron al sistema de captación, aducción y conducción de las diferentes fuentes que abastecen el sistema de acueducto.

7.2 COMPROBACIÓN DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS ACTUALES DEL RÍO PERUCHO

A continuación se presentan los cálculos de comprobación para la bocatoma, tubería de aducción, desarenador y tubería de conducción del río Perucho, a continuación se presenta el esquema actual de funcionamiento del sistema para el río Perucho. (Ver figura 45)



Figura 45 Esquema de operación actual del sistema de captación, aducción y conducción río Perucho.





- **Bocatoma río Perucho**

Para el cálculo de la captación de la bocatoma del río Perucho es necesario establecer valores iniciales con los que se determinará el valor del caudal captado actualmente.

Los parámetros básicos son los siguientes (datos obtenidos en campo):

- Largo efectivo de la rejilla= 1,10 m
- Ancho efectivo de la rejilla = 0,22 m
- Diámetro de barras = 0,0127 = 0,017 m
- Altura de la lámina de agua = 0,04 m

Cálculo de parámetros de la bocatoma

- Área de la rejilla = $1,1 \times 0,22 = 0,242 \text{ m}^2$
- No de barrotes = $\frac{1,1-0,017}{0,017+0,0127} = 36,46 \cong 37$
- Número de espaciamentos en la rejilla = 37 láminas + 1 espacio = 38 espacios.
- Área neta rejilla= $(0,242) - (0,0127 * 0,22 * 37) = 0,1386 \text{ m}^2$
- Caudal Captado por Bocatoma $Q = CA_n \sqrt{2gH}$
 $= 0,3 * 0,1386 * \sqrt{2 * 9,81 * 0,04}$
 $= 0,03684 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 36,84 \text{ L/s}$

El caudal captado por la bocatoma es de 36,84 L/s, sin embargo, la bocatoma cuenta con un vertedero en su interior que permite el paso controlado de una fracción de dicho caudal hacia la tubería de aducción.

- **Vertedero de Excesos**

La bocatoma del río Perucho cuenta con un tanque en donde se realiza un proceso de sedimentación primario y adicionalmente el tanque cuenta con un vertedero de excesos de caudal, a continuación se presenta el cálculo la altura de lámina de agua sobre el vertedero de salida del desordenador y posteriormente la altura de lámina de agua sobre el vertedero de exceso.

Dimensiones de tanque desordenador



- Longitud del tanque (dato medido): 3 m
- Longitud del vertedero (dato medido): 3 m
- Ancho (dato medido): 2 m
- Profundidad (dato medido): 1,8 m
- Caudal que pasa por tubería de aducción: 0,0264 m³/s
- Altura de vertedero de salida del desordenador (dato medido): 0,63m

$$H_{salida} = \left(\frac{Q}{1,84 * L} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,028 \text{ m}$$

La altura lámina de agua sobre el vertedero de salida del desordenador es 0,658 m (0,63+0,028).

Tras determinar la altura de lámina de agua sobre el vertedero de salida del desordenador, hay que determinar la altura de lámina de agua sobre el vertedero de excesos y de esta manera verificar la altura del vertedero de exceso, para ello se debe determinar el caudal de exceso.

- Longitud de vertedero (dato medido): 0,7 m
- Altura de vertedero de excesos (dato medido): 0,62 m
- Caudal captado: 0,03684 m³/s
- Caudal conducido por la tubería de aducción: 0,0264 m³/s

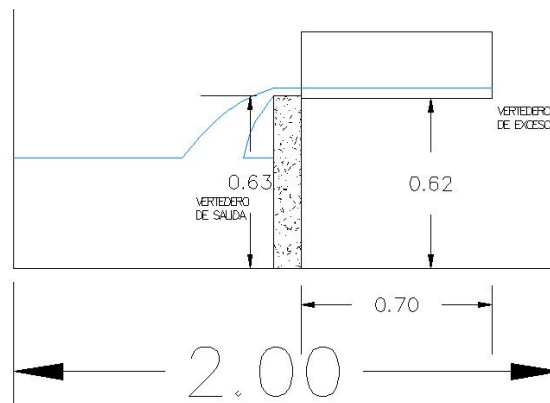
$$Q_{ex} = Q_{cap} - Q_{tuberia} = 0,01044 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{ex} = \left(\frac{Q}{1,84 * L} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,040 \text{ m}$$

A continuación se representa gráficamente el funcionamiento actual del vertedero de exceso. (Ver figura 46)



Figura 46. Vertedero de exceso

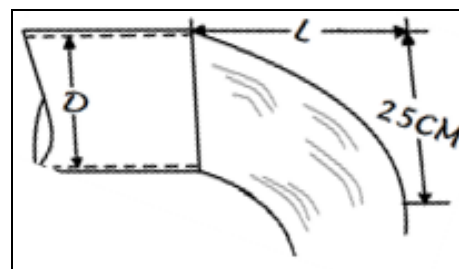


- **Tubería de aducción**

A continuación se determina el valor del caudal que fluye por la tubería de aducción. Para dicho cálculo, se tomaron valores longitud horizontal del chorro que sale por la tubería de aducción a 25 cm, tal como lo requiere el método, y se confirmó el valor del diámetro de la tubería de aducción, ya que lo permitía puesto que llega al desarenador sobre la superficie (Fotografía 6)

Para la determinación del caudal se utilizó la siguiente ecuación.

$$Q_0 = 12,5 L D^{2,53}$$



Dónde: Q_0 : caudal a tubo lleno en lph

L: Longitud horizontal hasta que el chorro alcance una diferencia de altura de 25 cm; el valor medido en campo fue de $L = 27$ cm.

D: diámetro del tubo, 8" (20,32 cm)

⁵³Hernán Materón. Obras hidráulicas rurales. Primera edición. Universidad del Valle, 1997. 238 p.



Se hace uso de la ecuación anterior, para determinar el caudal a tubo lleno, pero debido a que el tubo no va completamente lleno, se determina el caudal para el tubo parcialmente lleno mediante la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{A}{A_0} * Q_0$$

nde: Q: Caudal del tubo parcialmente lleno

A/A₀: Coeficiente dependiendo de la relación H/D, siendo H (7 cm) la distancia desde el borde del tubo hasta la altura de la lámina de agua en el interior de la tubería.

Caudal a tubo lleno

$$Q_0 = 12,5 * 27 * 20,32^2 = 139.354,56 \text{ lph} = 38,71 \text{ L/s}$$

Relación H/D y coeficiente A/A₀

$$\frac{7}{20,32} = 0,34$$
$$\frac{A}{A_0} = 0,6998$$

Caudal de tubo parcialmente lleno

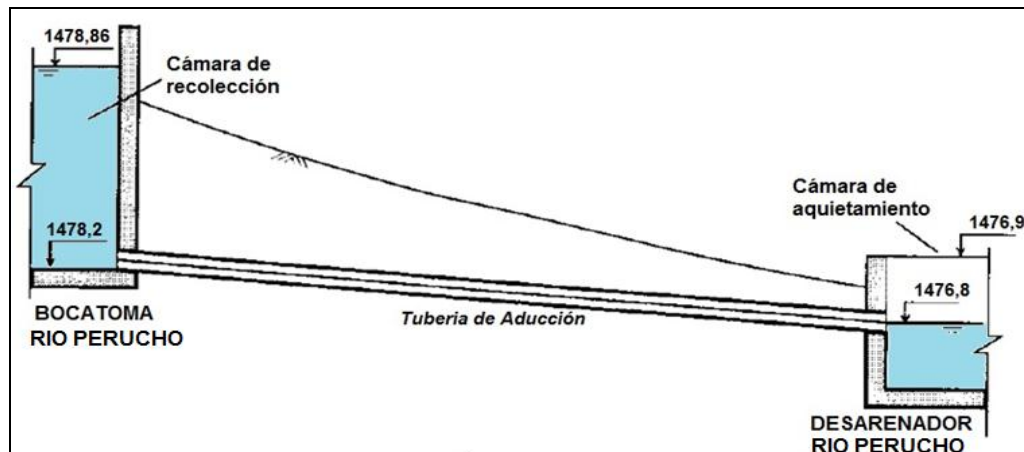
$$Q = 0,6998 * 38,71 = 27,09 \text{ L/s}$$

Los parámetros de la tubería de aducción son los siguientes:

- Diámetro (8" dato medido)= 0,2032 m
- Diámetro interno (8") = 0,194 m
- Material (dato observado)= PVC
- RDE (dato suministrado)= 21, tipo I Grado I
- Tipo de unión (dato suministrado) =Unión platino
- Longitud (dato suministrado)= 175 m
- Coeficiente de rugosidad Manning, n =0,009
- Cota de fondo de la bocatoma (Figura 47) (Dato medido) = 1.478,2 msnm
- Cota lámina de agua en desarenador (Figura 47) (Dato medido) =1.476,8 msnm
- Caudal de entrada a la tubería = 0.02709 m³/s



Figura 47. Tubería de aducción – río Perucho



Cálculo de parámetros tubería de aducción

➤ *Pendiente de la tubería* = $S = \frac{1.478,2 - 1.476,8}{175} = 0,008$

➤ *Caudal a tubo lleno* = $Q_0 = 0,312 * \frac{D^{\frac{8}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} = 0,04425 \text{ m}^3/\text{s} = 44,25 \text{ L/s}$

➤ *Área tubería (A)* = $0,0324 \text{ m}^2$

➤ *Perímetro mojado tubería (P)* = $0,638 \text{ m}$

➤ *Radio hidráulico Rh* = $\frac{A}{P} = 0,051 \text{ m}$

➤ *Velocidad a tubo lleno: V_0* = $\frac{Q_0}{A} = 1,365 \text{ m/s}$

➤ *Relación Q/Q₀* = $0,61$

Tras obtener el valor de la relación entre el caudal transportado por el tubo (Q) y el caudal a tubo lleno (Q₀), se obtienen las relaciones hidráulicas⁵⁴ correspondientes para conocer las condiciones de operación de la tubería de aducción.

○ $V_r/V_0 = 0,903$

○ $d/D = 0,632$

○ $R/R_0 = 1,139$

⁵⁴ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfonso. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Op. cit. p.171



Por lo tanto, las características de funcionamiento de la tubería de aducción son:

$$Vr = 0,903 * 1,365 = 1,232 \text{ m}$$

$$d = 0,632 * 0,2032 = 0,128 \text{ m}$$

$$R = 1,139 * 0,051 = 0,058 \text{ m}$$

Finamente, se determinan las pérdidas de carga en la tubería de aducción mediante la aplicación de la ecuación de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Despejando el de la anterior ecuación el valor de las pérdidas de carga h_f se obtiene el siguiente resultado:

$$h_f = 10,3 * n^2 * \frac{Q^2}{D^{5,33}} * L$$

$$h_f = 0,67 \text{ m}$$

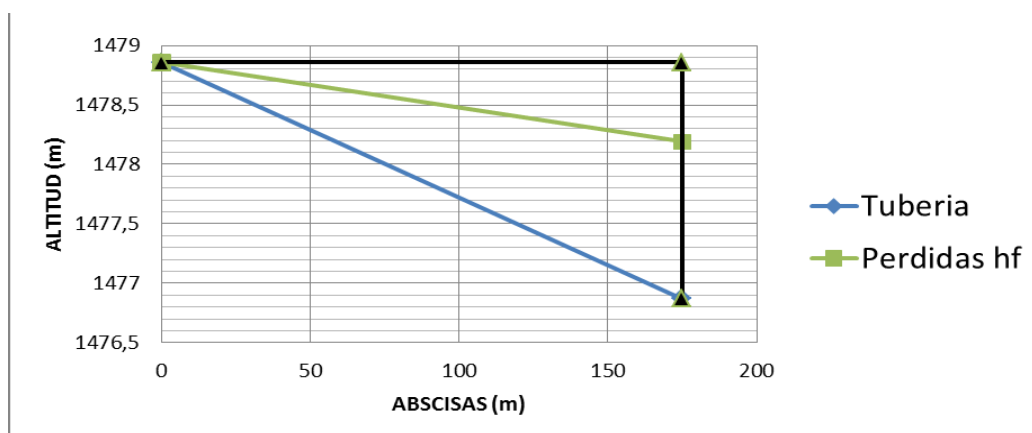
Una vez determinada las pérdidas de carga h_f , se procede a realizar la línea de energía (Figura 48) correspondiente a la tubería de aducción, comprendida entre la bocatoma y el desordenador. A continuación en la tabla 78 se presentan los cálculos de la línea de energía. Cabe resaltar que el valor de la cabeza de velocidad no se tiene en cuenta debido a su magnitud, por esta razón se puede despreciar en el gráfico.

Tabla 78 Línea piezométrica actual de la tubería de aducción del río Perucho

	ABSIZA (m)	ALTURA (m)	VELOCIDAD	CABEZA DE VELOCIDAD	PERDIDA	COTA LINEA PIEZOMETRICA (m)
BOCATOMA	0	1478,86	1,232	0,0774	0,67	1478,86
DESARENADOR	175	1476,87				1478,19



Figura 48. Línea piezométrica actual de la tubería de aducción del río Perucho



- **Desarenador río Perucho**

Los parámetros para determinar la capacidad (Q) actual del desarenador son los siguientes:

- Largo (dato medido) = 8,5 m
- Ancho (dato medido) = 2,80 m
- Alto (dato adoptado de documento suministrado por EAAA⁵⁵) = 2,6 m
- Altura útil (dato medido) = 2,3 m
- Viscosidad cinemática a 22° μ (dato adoptado de RAS 2000⁵⁶) = 0,009724 m^2/s^{-1}
- Peso específico de la arena ρ_s (dato tomado de medio bibliográfico⁵⁷) = 2,65 Kg/cm^2
- Peso específico del agua ρ (dato tomado de medio bibliográfico⁵⁸) = 1,00 Kg/cm^2
- Grado de desarenador n (adoptado⁵⁹) = 1

⁵⁵ COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Diagnostico municipio de la Vega Cundinamarca: Componentes del sistema de la Vega: Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial, 2011

⁵⁶ COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000: "Titulo B- sistemas de acueducto", Bogotá D.C.: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo económico, 2000.p, 101.

⁵⁷ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfonso. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Op. cit. p.187

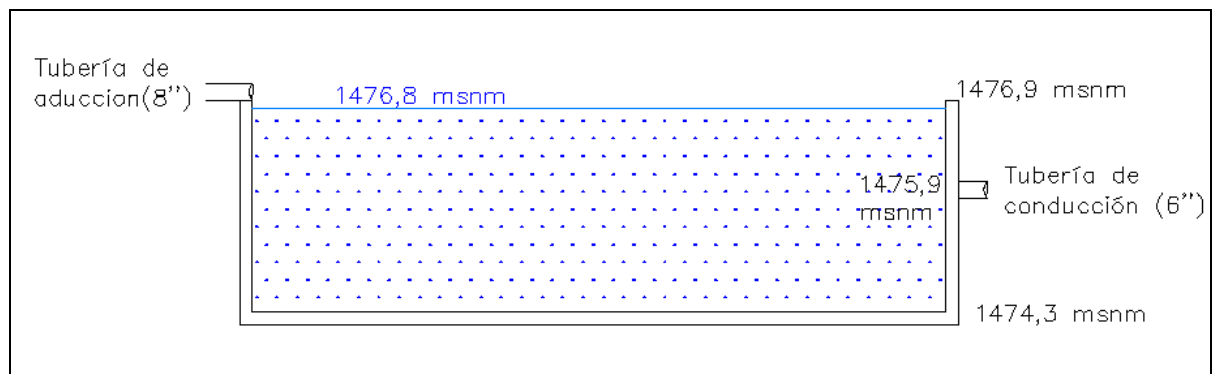
⁵⁸ Ibid. p.110.



- Porcentaje de remoción (dato adoptado de RAS 2000⁶⁰) = 75%
- Relación n/Porcentaje de remoción (valor adoptado⁶¹) = 3
- Diámetro de partícula removida (valor adoptado⁶²) = 0,06 mm

En la figura 49 se presenta las cotas correspondientes al desarenador.

Figura 49. Desarenador del río Perucho



Cálculo de parámetros desarenador:

- Velocidad de sedimentación $V_s = \frac{g(\rho_s - \rho)}{18 \mu} * d^2 = 0,3329 \text{ cm/s}$
- Tiempo de sedimentación $t = \frac{H}{V_s} = 690,89 \text{ s}$
- Periodo de retención hidráulica $\emptyset = 3 * t = 2.072,67 \text{ s} = 0,57 \text{ hr}$
- Caudal desarenador $Q = \frac{\text{Volumen}}{\emptyset} = \frac{54,74 \text{ m}^3}{2.072,67 \text{ s}} = 0,0264 \text{ m}^3/\text{s}$

La capacidad del desarenador del río Perucho es de 26,40 L/s, es decir que dicho valor es el caudal máximo que podrá ser conducido por la tubería de aducción y la tubería de conducción. La capacidad del desarenador regula la captación en la bocatoma, ya que no importa si se capta un caudal mayor a 26,40 L/s, debido a que el vertedero con el que cuenta la bocatoma solo va a permitir el ingreso de un caudal máximo de 26,40 L/s a la tubería de aducción.

⁵⁹LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfonso. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Op. cit. p.190

⁶⁰COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. Op. cit. P. 60

⁶¹ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfonso. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Op. cit. p.191

⁶² Ibid. p.183.



Debido a que el río Perucho nunca va a ser considerado como la fuente capaz de abastecer la demanda total de la población para el año 2038, tal como lo manifestaron los funcionarios del Acueducto, si no por el contrario va a funcionar como fuente soporte del río Ilá; no se llevará a cabo un redimensionamiento de la estructura del desarenador, ni de la tubería de aducción, simplemente se verificará su funcionamiento a su máxima capacidad, es decir cuando transporte un caudal de 26,40 L/s.

- **Tubería de conducción río Perucho**

Como se describió en el capítulo tres, la tubería de conducción del río Perucho cuenta con dos cámaras de quiebre de presión antes de llegar a la PTAP. A continuación se presentan las características operacionales de cada uno de los tramos que comprenden la tubería de conducción.

La determinación de las características de la tubería de conducción, se establecen a partir de la ecuación de Hazen y Williams:

$$Q = 0,2785 * C * D^{2,63} * S^{0,54}$$

Dónde:

Q: Caudal transportado por la tubería

C: Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams depende del material de la tubería

D: diámetro de la tubería

S: Pendiente de carga en la tubería.

- **Tramo 1: Desarenador a Cámara de quiebre 1**

Los parámetros básicos son los siguientes:

➤ Caudal $Q = 0,0264 \text{ m}^3/\text{s}$

➤ Diámetro (6") D (dato medido) = 0,1524 m



- Material (información obtenida en campo): asbesto-cemento
- Tipo de tubería (información obtenida en campo): A-5
- Presión de trabajo de la tubería (tomado de internet⁶³): 150 Kg/m²
- Longitud real de tubería (dato medido)= 390 m
- Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams, C (dato adoptado de bibliografía ⁶⁴) = 140
- Cota lámina de agua a la salida del desarenador (dato medido) = 1.476,8 msnm
- Cota cámara de quiebre número 1 (dato medido) (Figura 7): 1.451 msnm

Cálculo de parámetros para tramo 1:

- *Pendiente del terreno* = $\frac{1.476,8 - 1.451}{390} = 0,066$
- *Pendiente de carga* $S = \left(\frac{Q}{0,2785 C D^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}} = 0,01289 \text{ m/m}$
- *Área* $A = \frac{\pi}{4} D^2 = 0,01824 \text{ m}^2$
- *Perímetro mojado* $\pi D = 0,4787 \text{ m}$
- *Radio hidráulico* $R_h = \frac{A}{p} = 0,0381 \text{ m}$
- *Velocidad de flujo* $V = 0,8494 C R_h^{0,63} S^{0,54} = 1,44 \text{ m/s}$
- *Pérdidas máximas de carga* $h_{f_{max}} = \Delta Z = 25,8 \text{ m}$
- *Pérdida de carga* $h_f = 10,674 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,871}} * L = 5,03 \text{ m. c. a.}$

El caudal conducido por este tramo de la tubería es el máximo, ya que está dado por la capacidad del desarenador, que es de 26,40 L/s; adicional a lo anterior, se evidencia que la velocidad de flujo cumple con los valores límites establecidos en la norma RAS-2000⁶⁵.

⁶³ COVAL, Tubos PVC presión. [tipo de medio electrónico]. Mayo 2005: .p 5. [consultado 10/01/2014]. Disponible en <www.coval.com.co/pdfs/manuales/man_durman_presion_snap.pdf>.

⁶⁴ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfonso. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Op. cit. p.220

⁶⁵ COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000: "Titulo B- sistemas de acueducto". Op. Cit. p.110



A continuación se verifica la presión en la tubería:

$$\text{Presión máxima: } 1.476,8 \text{ m} - 1.451 \text{ m} = 25,8 \text{ m}$$

$$\text{Presión de diseño: } 1,3 * 25,8 \text{ m} = 33,54 \text{ m}$$

$$\text{Presión nominal tubería asbesto-cemento A-5: } 15 \text{ Kg/cm}^2 = 150 \text{ m}$$

La presión nominal de la tubería es mayor a la presión de diseño, por ende se cumple con lo establecido en la norma RAS-2000⁶⁶.

○ **Tramo 2: Cámara de quiebre 1 a Cámara de quiebre 2**

Los parámetros básicos son los siguientes:

- Caudal $Q = 0,0264 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diámetro (6") (dato medido) $D = 0,1524 \text{ m}$
- Material (información obtenida en campo): asbesto-cemento
- Tipo de tubería (información obtenida en campo): A-51
- Presión de trabajo de la tubería (tomado de internet⁶⁷): 150 Kg/m^2
- Longitud real de tubería (dato medido) = 410 m
- Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams, C (dato adoptado de bibliografía ⁶⁸) = 140
- Cota cámara de quiebre 1 (Figura 7) (dato medido) = 1.451 msnm
- Cota cámara de quiebre 2 (Figura 7) (dato medido) = 1.441 msnm

Cálculo de parámetros para el tramo

$$\text{➤ Pendiente del terreno} = \frac{1.451 - 1.441}{410} = 0,024$$

$$\text{➤ Pendiente de carga } S = \left(\frac{Q}{0,2785 C D^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}} = 0,01289 \text{ m/m}$$

$$\text{➤ Área } A = \frac{\pi}{4} D^2 = 0,01824 \text{ m}^2$$

$$\text{➤ Perímetro mojado } \pi D = 0,4787 \text{ m}$$

⁶⁶ Ibid. p.110.

⁶⁷ COVAL, Tubos PVC presión. Op. cit. p. 5

⁶⁸ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfonso. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Op. cit. p.191



- *Radio hidráulico* $R_h = \frac{A}{P} = 0,0381 \text{ m}$
- *Velocidad de flujo* $V = 0,8494 C R_h^{0,63} S^{0,54} = 1,44 \text{ m/s}$
- *Pérdidas máximas de carga* $h_{f_{max}} = \Delta Z = 10 \text{ m}$
- *Pérdida de carga* $h_f = 10,674 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,871}} * L = 5,28 \text{ m. c. a.}$

En forma similar a la tubería anterior, se evidencia que la velocidad de flujo cumple con los parámetros establecidos en la RAS-2000⁶⁹.

A continuación se verifica la presión en la tubería:

Presión máxima: $1.451 \text{ m} - 1.441 \text{ m} = 10 \text{ m}$

Presión de diseño: $1,3 * 10 \text{ m} = 13 \text{ m}$

Presión nominal tubería asbesto-cemento A-5: $15 \text{ Kg/cm}^2 = 150 \text{ m}$

La presión nominal de la tubería es mayor a la presión de diseño; por ende, cumple lo requerido por la norma RAS-2000⁷⁰.

○ **Tramo 3: Cámara de quiebre 2 a PTAP**

El tramo tres consiste en una tubería con dos diámetros diferentes: uno de 950 m, con diámetro de 4", y otro de 350 m, con diámetro de 3".

Para las evaluaciones que se realizarán a continuación, se debe tener en cuenta que en la cámara de quiebre 2 existe una estructura de rebose la cual divide el caudal de 26,40 L/s que llega a la cámara, enviando una fracción del caudal a la cámara de quiebre 1 del río Ilá (12 L/s) como se observara más adelante. Para determinar la cantidad de caudal que sigue en la tubería de conducción del río Perucho y la cantidad de caudal que es derivada a la cámara de quiebre 1 del río Ilá, es necesario conocer el caudal máximo que puede transportar la tubería del tramo tres sin que se sobrepase el límite

⁶⁹ Ibid. p.110.

⁷⁰ Ibid. p.110.



máximo de pérdidas de carga, para evitar el cifonamiento de la tubería, y por esta razón también se considera como máxima la capacidad de conducción de caudal de la tubería con diámetro menor, es decir la tubería de 3”.

Caudal máximo que puede conducir la tubería de 3”

- *Cota de inicio de tubería de 3”(dato medido) = 1.373 msnm*
- *Cota PTAP (dato medido)= 1.340 msnm*
- *Diámetro (3”) (dato medido) = 0,0762 m*
- *Longitud de tubería (dato medido): 350 m*
- *Material de tubería (información obtenida en campo): asbesto-cemento*
- *Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams, C (dato adoptado de bibliografía ⁷¹) = 140*
- *Pérdida de carga máxima $h_{f_{max}} = \Delta Z = 33 m$*
- *Caudal máximo $Q = 0,2785 * C * D^{2,63} \left[\frac{h_f}{L} \right]^{0,54} = 0,0124 \frac{m^3}{s}$*

El caudal máximo que puede conducir la tubería en el tramo tres es de 12,40 L/s; es decir, los restantes 26,40 – 12,40 = 14 L/s son transportados hacia la cámara de quiebre uno del río llá.

Los parámetros básicos para la tubería de 4” son los siguientes:

- *Caudal Q = 0,0124 m³/s*
- *Diámetro (4”) D (dato medido)= 0,1016 m*
- *Material (información obtenida en campo): asbesto-cemento*
- *Tipo de tubería (información obtenida en campo): A-51*
- *Presión de trabajo de la tubería (tomado de internet⁷²): 150 Kg/m²*
- *Longitud real de tubería (dato medido) = 950 m*
- *Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams, C ⁷³ = 140*
- *Cota cámara de quiebre 1 (Figura 7) (dato medido) = 1.441 msnm*

⁷¹ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfonso. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Op. cit. p.191

⁷² COVAL, Tubos PVC presión. Op. cit. p. 5

⁷³ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfonso. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Op. cit. p.191



- Cota en el sitio de reducción de diámetro (dato medido) = 1.373 msnm

Cálculo de parámetros para tubería de 4"

- *Pendiente del terreno* $= \frac{1.441 - 1.373}{950} = 0,071$
- *Pendiente de carga* $S = \left(\frac{Q}{0,2785 C D^{2,65}} \right)^{\frac{1}{0,54}} = 0,02290 \text{ m/m}$
- *Área* $A = \frac{\pi}{4} D^2 = 0,0081 \text{ m}^2$
- *Perímetro mojado* $\pi D = 0,3191 \text{ m}$
- *Radio hidráulico* $R_h = \frac{A}{p} = 0,0254 \text{ m}$
- *Velocidad de flujo* $V = 0,8494 C R_h^{0,63} S^{0,54} = 1,52 \text{ m/s}$
- *Pérdidas máximas de carga* $h_{f_{max}} = \Delta Z = 68 \text{ m}$
- *Pérdida de carga* $h_f = 10,674 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,871}} * L = 21,77 \text{ m. c. a.}$

Por lo anterior, el caudal conducido por este tramo de tubería es de 12,40 L/s; además, se verificó que la velocidad de flujo cumple con los requerimientos establecidos en la norma RAS-2000⁷⁴.

A continuación se verifica la presión de la tubería.

Presión máxima: $1.441 \text{ m} - 1.373 \text{ m} = 68 \text{ m}$

Presión de diseño: $1,3 * 68 \text{ m} = 88,4 \text{ m}$

Presión nominal tubería asbesto-cemento A-5: $15 \text{ Kg/cm}^2 = 150 \text{ m}$

La presión nominal de la tubería es mayor a la presión de diseño; por ende, cumple con lo solicitado por la norma RAS-2000⁷⁵.

- **Línea de energía tubería de conducción río Perucho**

Con el fin de conocer el comportamiento de las pérdidas de energía a lo largo de la tubería de conducción, se realizan los cálculos y el trazado de la línea

⁷⁴ Ibid. p.110.

⁷⁵ Ibid. p.110.



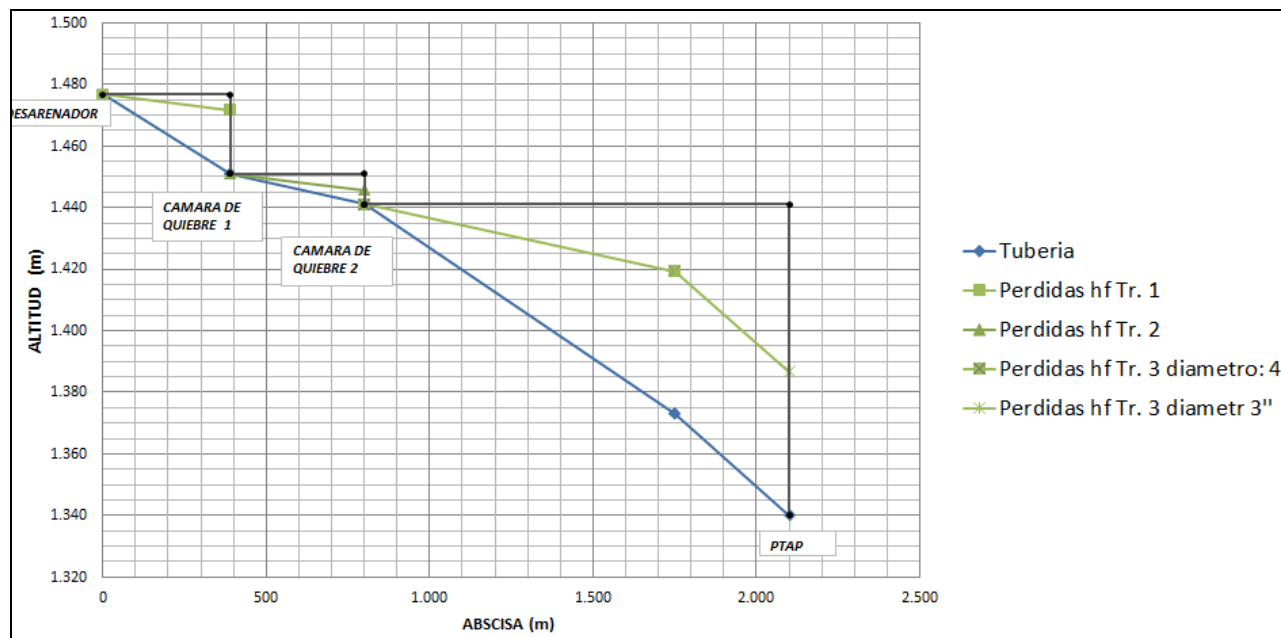
piezométrica. Así, en la Tabla 79 se presentan esos cálculos y en la Figura 50 se muestra gráficamente la línea piezométrica. Para el trazado de la Figura 50 no se tuvo en cuenta el valor de la cabeza de velocidad, ya que sus valores son pequeños y pueden despreciarse.



Tabla 79. Línea piezométrica actual de la tubería de conducción del río Perucho

		abscisa (m)	altura (msnm)	cabeza de velocidad (m)	pérdida hf (m)	cota línea piezometrica (m)
TRAMO 1	DESARENADOR	0,00	1.476,80	0,11	5,03	1.476,80
	cámara de quiebre 1	390,00	1.451,00			1.471,77
TRAMO 2	cámara de quiebre 1	390,00	1.451,00	0,11	5,29	1.451,00
	cámara de quiebre 2	800,00	1.441,00			1.445,71
TRAMO 3	cámara de quiebre 2	800,00	1.441,00	0,12	21,77	1.441,00
	reducción de tubería a 3"	1.750,00	1.373,00			1.419,23
	reducción de tubería a 3"	1.750,00	1.373,00	0,38	32,57	1.419,23
	PTAP	2.100,00	1.340,00			1.386,66

Figura 50. Línea piezométrica actual de la tubería de conducción – río Perucho





- **Tubería cámara 2 Perucho a cámara 1 Ilá**

Los parámetros para la tubería son los siguientes:

- Caudal $Q = 0,014 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diámetro (6") (dato medido) $D = 0,1524 \text{ m}$
- Material (información obtenida en campo): asbesto-cemento
- Tipo de tubería: (información obtenida en campo)= A-51
- Presión de trabajo de la tubería (tomado de internet⁷⁶)= 150 Kg/m^2
- Longitud real de tubería (dato medido) = 31 m
- Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams, C (dato adoptado de bibliografía ⁷⁷) = 140
- Cota cámara de quiebre 2 Perucho (Figura 7) (dato medido) = 1.441 msnm
- Cota cámara de quiebre 1 Ilá (Figura 7) (dato medido) = 1.440 msnm

Calculo de parámetros para tubería

- *Pendiente del terreno* $= \frac{1.441 - 1.440}{950} = 0,032$
- *Pendiente de carga S* $= \left(\frac{Q}{0,2785 C D^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}} = 0,0039 \text{ m/m}$
- *Área* $A = \frac{\pi}{4} D^2 = 0,018 \text{ m}^2$
- *Perímetro mojado* $\pi D = 0,4787 \text{ m}$
- *Radio hidráulico* $R_h = \frac{A}{p} = 0,0381 \text{ m}$
- *Velocidad de flujo* $V = 0,8494 C R_h^{0,63} S^{0,54} = 0,76 \text{ m/s}$
- *Pérdidas máximas de carga* $h_{f_{max}} = \Delta Z = 1 \text{ m}$
- *Pérdida de carga* $h_f = 10,674 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,871}} * L = 0,12 \text{ m. c. a.}$

El caudal conducido por este tramo de tubería es el máximo ya que está dado por la capacidad del desarenador, que es de $14,0 \text{ L/s}$. Se verificó que la

⁷⁶ COVAL, Tubos PVC presión. Op. cit. p. 5

⁷⁷ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfonso. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Op. cit. p.191



velocidad de flujo cumple con los requerimientos establecidos por la norma RAS-2000⁷⁸

A continuación se verifica la presión de la tubería.

$$\text{Presión máxima: } 1.441 \text{ m} - 1.440 \text{ m} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Presión de diseño: } 1,3 * 1 \text{ m} = 1,3 \text{ m}$$

$$\text{Presión nominal tubería asbesto-cemento A-5: } 15 \text{ Kg/cm}^2 = 150 \text{ m}$$

La presión nominal de la tubería es mayor a la presión de diseño; por ende, cumple lo establecido en la norma RAS-2000⁷⁹.

7.3 COMPROBACIÓN DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS ACTUALES DEL RÍO ILÁ

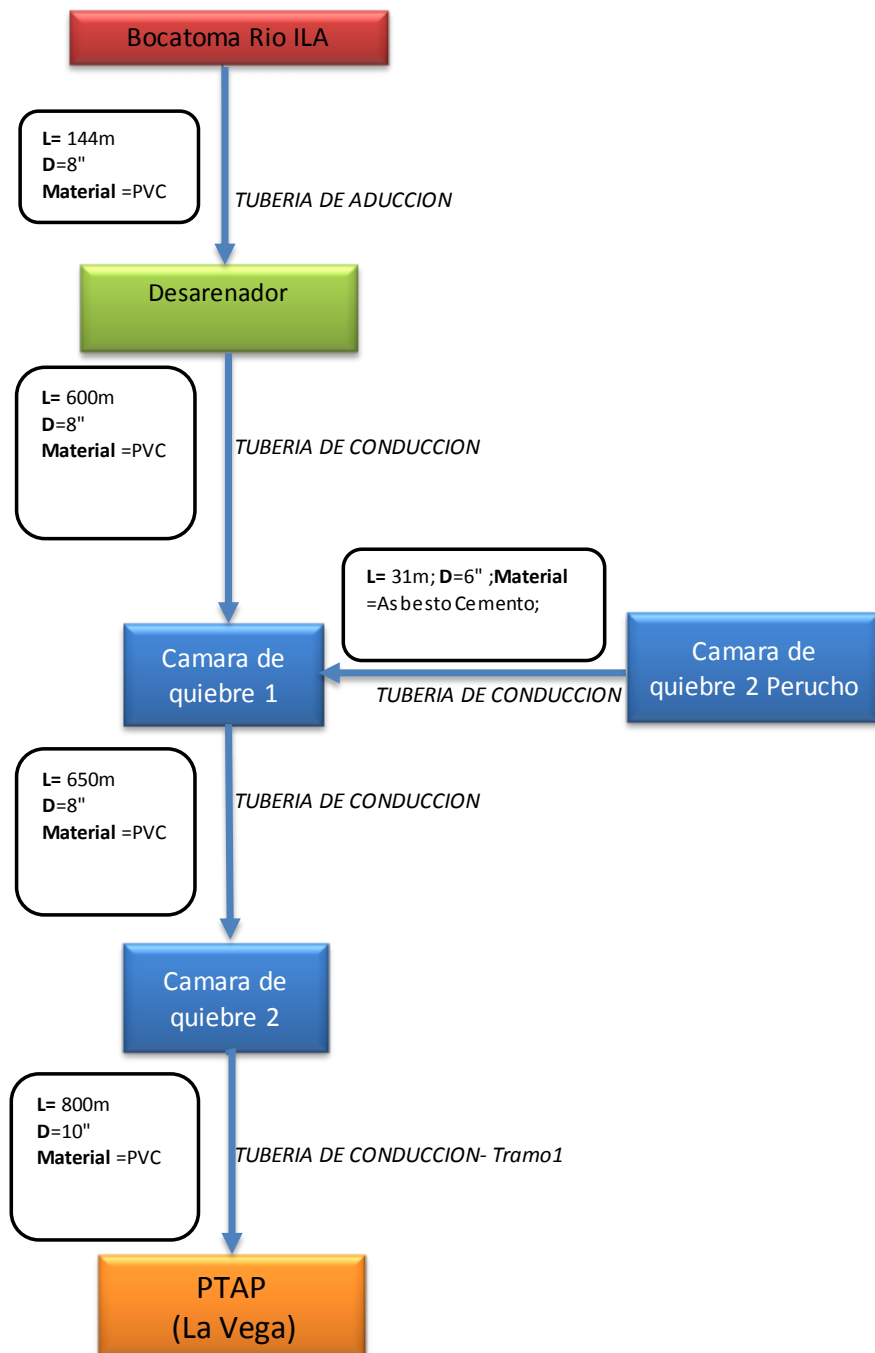
A continuación se presentan los cálculos de comprobación para la bocatoma, tubería de aducción, desarenador y tubería de conducción del río Ilá, a continuación se presenta el esquema actual de funcionamiento del sistema para el río Perucho. (Ver figura 51)

⁷⁸Ibid. p.110.

⁷⁹ Ibid. p.110.



Figura 51. Esquema de operación actual del sistema de captación, aducción y conducción río Ilá.





- **Bocatoma río Ilá**

Para el cálculo de la captación de la bocatoma del río Ilá, debido a que la bocatoma basa su funcionamiento en una rejilla de captación de fondo y una captación alterna que funciona actualmente mediante una tabla de madera ubicada de manera transversal que permite el paso del agua directamente al sistema (Fotografía 3); *no es posible determinar con exactitud el caudal captado por la bocatoma* debido al funcionamiento actual, este tipo de problemática se ve reflejada por la administración ineficiente con la que actualmente opera la Empresa de Acueducto, sin embargo en el presente capítulo se realizara el cálculo de la cantidad de agua que capta la rejilla.

Adicional a lo anterior, y como se explicó en el capítulo 3, una vez es captada el agua, esta es conducida por un canal y llega a una cámara en la cual se lleva a cabo un proceso de sedimentación básico.

A continuación se presenta el cálculo del caudal que capta la rejilla y adicionalmente el caudal que transporta el canal.

Los parámetros básicos de la captación con rejilla, son los siguientes:

- Largo efectivo de la rejilla = 2,10 m
- Ancho efectivo de la rejilla = 0,40 m
- Diámetro de barras = 0,0254 m
- Separación entre barras en la rejilla = 0,0254 m
- Altura de la lámina de agua = 0,05 m

Cálculo de parámetros de la bocatoma

- Área de la rejilla = $2,1 \times 0,4 = 0,84 \text{ m}^2$

- No de barrotos = $\frac{2,1-0,0254}{0,0254+0,0254} = 40,83 \cong 41$

Número de espaciamentos en la rejilla = 41 láminas + 1 espacio = 42 espacios.

- Área neta rejilla = $(0,84) - (0,0254 * 0,4 * 41) = 0,423 \text{ m}^2$

- Caudal Captado por Bocatoma $Q = CA_n \sqrt{2gH}$



$$\begin{aligned} &= 0,3 * 0,423 * \sqrt{2 * 9,81 * 0,54} \\ &= 0,01258 \frac{m^3}{s} = 125,8 L/s \end{aligned}$$

El caudal captado por la rejilla de la bocatoma es de 125,8 L/s. Sin embargo, la bocatoma capta adicionalmente el caudal que entra de manera directa debido a la obstrucción que se realiza mediante la utilización de la tabla de madera (Fotografía 3); la determinación de ese caudal no es posible llevarla a cabo de manera precisa, por tal razón no se realizara calculo alguno para determinar dicho caudal.

Como se mencionó anteriormente, el caudal total captado por la bocatoma, es transportado por un canal hasta un desarenador primario, la determinación del caudal transportado en el canal se realiza mediante los datos obtenidos en el aforo realizado en una de las visitas; el método de aforo utilizado fue el “Método de flotador” el cual consiste en tomar el tiempo en el que un objeto flotador demora en trasladarse de un punto A a un punto B.

El canal aforado posee las siguientes características:

- Largo del canal (dato medido)= 11,0 m
- Ancho de canal (dato medido)= 0,40 m
- Profundidad de canal (dato medido)= 0,65 m
- Altura de lámina de agua (dato medido)= 0,40 m
- Longitud de aforo (dato medido)= 6,0 m
- Tiempo de recorrido (dato medido)= 3,72 s
- Coeficiente K (adoptado⁸⁰): 0,85

Cálculo de parámetros del canal

- *Área húmeda de la sección del canal = 0,4 x 0,4 = 0,16 m²*

⁸⁰ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Guía de prácticas hidrológicas. Capítulo 11. Organización mundial meteorológica, 1994.



- Velocidad superficial de flujo $V_s = \frac{6 \text{ m}}{3,72 \text{ s}} = 1,612 \text{ m/s}$
- Velocidad media del canal: $V = K V_s = 1,370 \text{ m/s}$
- Caudal transportado $Q = VA = 0,2192 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 219,2 \text{ L/s}$

El caudal transportado por el canal es de 219,9 L/s, y conociendo que el caudal que capta la rejilla es de 125,8 L/s, se asume que el caudal que entra directamente al canal es de 94,1 L/s.

Debido a la condición actual de funcionamiento del sistema de captación, no es posible establecer con precisión la cantidad de agua de exceso que se reintegra al río; así mismo, tampoco fue posible establecer qué caudal ingresa efectivamente a la tubería de aducción y qué cantidad de agua llega al desarenador. Por tal razón, *se estima que el caudal que será conducido por la tubería de aducción se estima corresponde a la capacidad que tiene el desarenador*. De esta manera se determinará la capacidad del desarenador y, posteriormente, se calcularán los diferentes parámetros de la tubería de aducción.

- **Desarenador río Ilá**

Los parámetros básicos para determinar la capacidad (Q) del desarenador son los siguientes:

- Largo (dato medido) = 18,00 m
- Ancho (dato medido) = 2,60 m
- Alto (dato medido) = 2,00 m
- Altura útil H (dato medido) = 1,80 m
- Viscosidad cinemática a 22°, $\mu = 0,009724 \text{ m}^2/\text{s}^{-1}$
- Peso específico de la arena $\rho_s = 2,65 \text{ Kg/cm}^3$
- Peso específico del agua $\rho = 1,00 \text{ Kg/cm}^3$
- Grado de desarenador $n = 1$
- Porcentaje de remoción = 75%
- Relación $n/\text{Porcentaje de remoción} = 3$



- Diámetro de partícula removida = 0,05 mm

Cálculo de los parámetros del desarenador

- *Velocidad de sedimentación* $V_s = \frac{g(\rho_s - \rho)}{18\mu} * d^2 = 0,2311 \text{ cm/s}$
- *Tiempo de sedimentación* $t = \frac{H}{V_s} = 778,57 \text{ s}$
- *Periodo de retención hidráulica* $\emptyset = 3 * t = 2.335,7 \text{ s} = 0,64 \text{ hr}$
- *Caudal desarenador* $Q = \frac{\text{Volumen}}{\emptyset} = \frac{84,24 \text{ m}^3}{2.335,7 \text{ s}} = 0,03606 \text{ m}^3/\text{s}$

La capacidad del desarenador del río Ilá es de 36,06 L/s, que corresponde al caudal máximo que podrá ser conducido tanto por la tubería de aducción como por la tubería de conducción. La capacidad del desarenador es la que regula la captación en la bocatoma, ya que no afecta si se capta un caudal mayor a 36,06 L/s, porque el vertedero con que cuenta la bocatoma sólo permitirá el ingreso a la tubería de aducción de un caudal máximo de 36,06 L/s.

Teniendo en cuenta lo informado por el Acueducto, el río Perucho aporta un caudal mínimo en épocas de sequía y la responsabilidad de soportar la totalidad de la demanda de la población para el año 2038 recaería en el río Ilá. De esta manera el desarenador debe tener una capacidad mínima de 45,85 L/s, que es el caudal máximo diario demandado por la población en el año 2038. Por la razón anteriormente descrita, es necesaria la construcción de un nuevo desarenador que tenga capacidad de soportar la demanda de la población en el año 2038.

A continuación se presentará la determinación de los parámetros de la tubería de aducción.

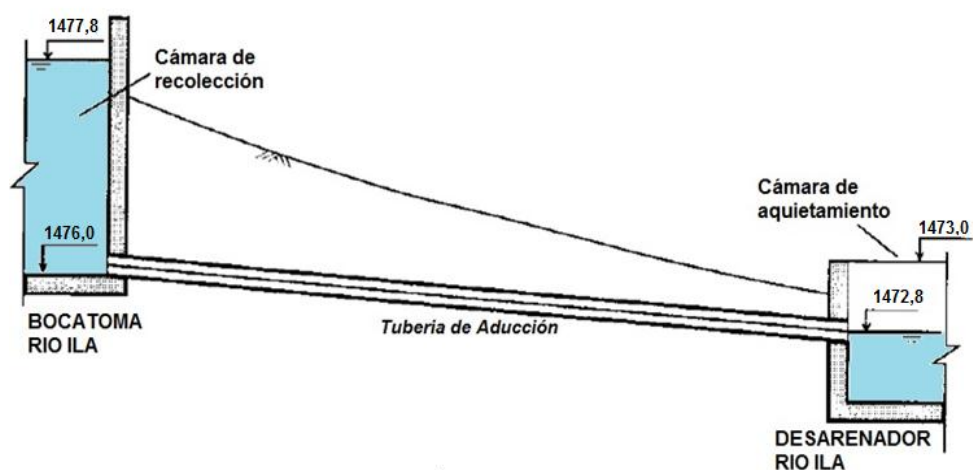
- **Tubería de aducción**

Los parámetros de la tubería son los siguientes:



- Diámetro (8") (dato medido) = 0,2032 m
- Diámetro interno (8") (dato medido) = 0,194 m
- Material (dato medido) = PVC
- Tipo de tubería: RDE 21 Unión platino
- Longitud = 144 m
- Coeficiente de rugosidad Manning, $n = 0,009$
- Cota de fondo de la bocatoma (Figura 52) = 1.476,0 msnm
- Cota lámina de agua entrada al desarenador (Figura 52) = 1.472,8 msnm
- Caudal de entrada $Q = 0.03606 \text{ m}^3/\text{s}$

Figura 52. Tubería de aducción – río Ilá



Cálculo de parámetros tubería de aducción:

- *Pendiente de la tubería* $S = \frac{1.476 - 1.472,8}{144} = 0,022$
- *Caudal a tubo lleno* $Q_0 = 0,312 * \frac{D^{\frac{8}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} = 0,07375 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 73,75 \text{ l/s}$
- *Área tubería llena* $A_0 = 0,0324 \text{ m}^2$
- *Perímetro mojado tubería* $P_0 = 0,638 \text{ m}$
- *Radio hidráulico* $R_h = \frac{A_0}{P_0} = 0,051 \text{ m}$
- *Velocidad a tubo lleno:* $V_0 = \frac{Q_0}{A_0} = 2,274 \text{ m/s}$
- *Relación $Q/Q_0 = 0,49$*



Tras obtener el valor de la relación entre el caudal transportado por el tubo (Q) y el caudal a tubo lleno (Q_0), se obtienen las relaciones hidráulicas⁸¹ correspondientes, las cuales se presentan a continuación y de esta manera conocer las condiciones de operación de la tubería de aducción.

- V_r/V_0 : 0,845
- d/D : 0,557
- R/R_0 : 1,073

A partir de las relaciones hidráulicas, se determinan las condiciones de funcionamiento de la tubería de aducción:

$$V_r = 0,845 * 2,274 = 1,921 \text{ m/s}$$

$$d = 0,557 * 0,2032 = 0,113 \text{ m}$$

$$R = 1,073 * 0,051 = 0,054 \text{ m}$$

Finamente se determinan las pérdidas de carga presentes en la tubería de aducción mediante la aplicación de la ecuación de Manning:

$$h_f = 10,3 * n^2 * \frac{Q^2}{D^{5,33}} * L$$

$$h_f = 0,763 \text{ m}$$

Una vez determinada las pérdidas de carga h_f , se procede a realizar la línea de energía (Figura 53) correspondiente a la tubería de aducción, comprendida entre la bocatoma y el desarenador. A continuación en la tabla 80 se presentan los cálculos de la línea de energía. Cabe resaltar que el valor de la cabeza de velocidad no se tiene en cuenta debido a su magnitud, por esta razón se puede despreciar en el gráfico.

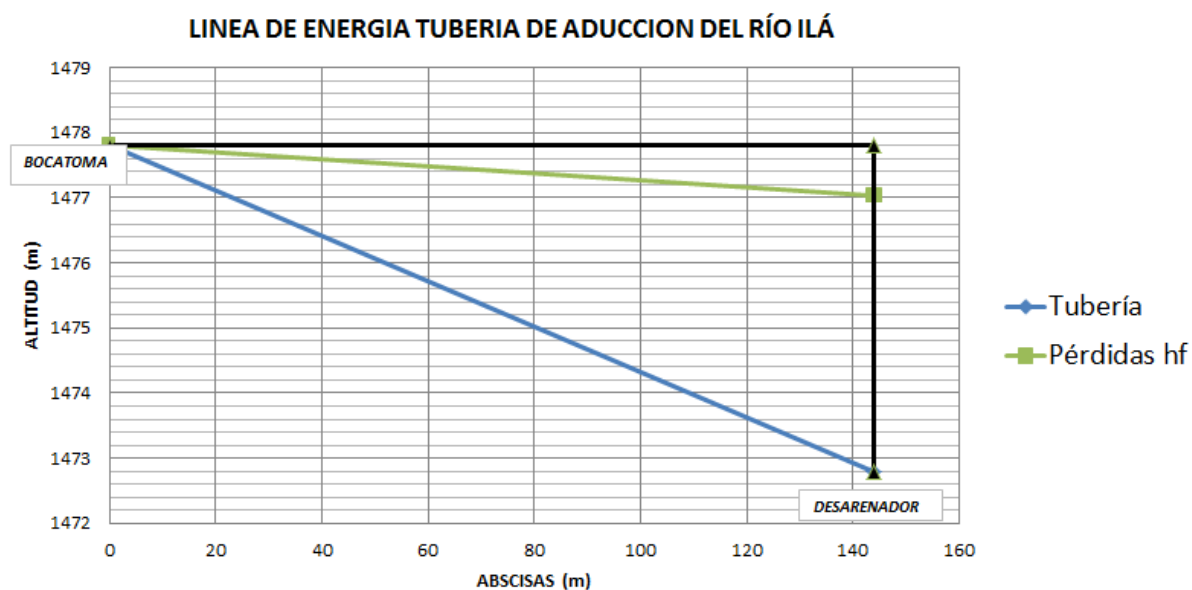
⁸¹ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfonso. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Op. cit. p.171



Tabla 80 Línea piezometrica actual de la tubería de aducción del río Perucho

	ABSCISA (m)	ALTURA (m)	VELOCIDAD (m/s)	CABEZA DE VELOCIDAD	PERDIDA (m)	COTA LÍNEA PIEZOMÉTRICA (m)
BOCATOMA	0	1477,8	1,921	0,18808568	0,762	1477,8
DESARENADOR	144	1472,8				1477,038

Figura 53. Línea piezometrica actual de la tubería de aducción del río Perucho



- **Tubería de conducción del río Ilá**

La tubería de conducción del río Ilá comprende desde el desarenador hasta la PTAP, actualmente la tubería conduce el caudal que suministra el desarenador (36,06 L/s), pero cuando llega a la cámara de quiebre 1; luego ingresan a dicha cámara 14 L/s adicionales provenientes de la cámara de quiebre 2 del río Perucho.

A continuación se presenta la determinación de los parámetros para cada uno de los tramos.

- **Tramo 1: Desarenador a Cámara de quiebre 1**

Los parámetros básicos son los siguientes:



- Caudal $Q = 0,03606 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diámetro (8") (dato medido) $D = 0,2032 \text{ m}$
- Material: PVC
- Tipo de tubería: RDE 21
- Presión de trabajo de la tubería: $150 \text{ Kg}/\text{m}^2$
- Longitud real de tubería (dato medido) = 600 m
- Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams $C = 150$
- Cota desarenador (Figura 7) = 1.473 msnm
- Cota cámara número 1 (Figura 7): 1.440 msnm

Cálculo de parámetros para tramo 1

- *Pendiente del terreno* = $\frac{1.473 - 1.440}{600} = 0,055$
- *Pendiente de carga* $S = \left(\frac{Q}{0,2785 C D^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}} = 0,00497 \text{ m}/\text{m}$
- *Área* $A = \frac{\pi}{4} D^2 = 0,0324 \text{ m}^2$
- *Perímetro mojado* $\pi D = 0,638 \text{ m}$
- *Radio hidráulico* $R_h = \frac{A}{p} = 0,0508 \text{ m}$
- *Velocidad de flujo* $V = 0,8494 C R_h^{0,63} S^{0,54} = 1,11 \text{ m}/\text{s}$
- *Pérdidas máximas de carga* $h_{f_{max}} = \Delta Z = 33 \text{ m}$
- *Pérdida de carga* $h_f = 10,674 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,871}} * L = 2,99 \text{ m. c. a.}$

Se verificó que la velocidad de flujo cumple con los parámetros establecidos en la RAS-2000⁸².

A continuación se verifica la presión de la tubería.

$$\text{Presión máxima: } 1.473 \text{ m} - 1.440 \text{ m} = 33 \text{ m}$$

$$\text{Presión de diseño: } 1,3 * 33 \text{ m} = 42,90 \text{ m}$$

$$\text{Presión nominal tubería PVC RDE 21: } 15 \text{ Kg}/\text{cm}^2 = 150 \text{ m}$$

⁸²Ibid., p.60.



La presión nominal de la tubería es mayor a la presión de diseño, por ende cumple lo establecido en la norma RAS-2000⁸³.

○ **Tramo 2 Cámara de quiebre 1 a Cámara de quiebre 2**

Los parámetros básicos son los siguientes:

- Caudal $Q = 0,03606 \text{ m}^3/\text{s} + 0,014 \text{ m}^3/\text{s} = 0,05006 \text{ L/s}$
- Diámetro (8") (dato medido) $D = 0,2032 \text{ m}$
- Material: PVC
- Tipo de tubería: RDE 21
- Presión de trabajo de la tubería: 150 Kg/m^2
- Longitud real de tubería (dato medido) = 650 m
- Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams $C = 150$
- Cota cámara de quiebre 1 (Figura 7) = 1.440 msnm
- Cota cámara de quiebre 2 (Figura 7): 1.396 msnm

Cálculo de parámetros para tramo 2:

- *Pendiente del terreno* = $\frac{1.440 - 1.396}{650} = 0,0676$
- *Pendiente de carga* $S = \left(\frac{Q}{0,2785 C D^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}} = 0,00913 \text{ m/m}$
- *Área* $A = \frac{\pi}{4} D^2 = 0,0324 \text{ m}^2$
- *Perímetro mojado* $\pi D = 0,638 \text{ m}$
- *Radio hidráulico* $R_h = \frac{A}{p} = 0,0508 \text{ m}$
- *Velocidad de flujo* $V = 0,8494 C R_h^{0,63} S^{0,54} = 1,54 \text{ m/s}$
- *Pérdidas máximas de carga* $h_{f_{max}} = \Delta Z = 44 \text{ m}$
- *Pérdida de carga* $h_f = 10,674 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,871}} * L = 5,94 \text{ m. c. a.}$

Se verificó que la velocidad de flujo cumple con los parámetros establecidos en la RAS-2000⁸⁴.

⁸³Ibid., p.60.



A continuación se verifica la presión de la tubería.

$$\text{Presión máxima: } 1.440 \text{ m} - 1.396 \text{ m} = 44 \text{ m}$$

$$\text{Presión de diseño: } 1,3 * 44 \text{ m} = 57,2 \text{ m}$$

$$\text{Presión nominal tubería PVC RDE 21: } 15 \text{ Kg/cm}^2 = 150 \text{ m}$$

La presión nominal de la tubería es mayor a la presión de diseño, por ende cumple lo establecido en la norma RAS-2000⁸⁵.

○ **Tramo 3 Cámara de quiebre 2 a PTAP**

Los parámetros son los siguientes:

- Caudal $Q = 0,05006 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diámetro (10") D (dato medido) = $0,254 \text{ m}$
- Material: PVC
- Tipo de tubería: RDE 21
- Presión de trabajo de la tubería: 150 Kg/m^2
- Longitud real de tubería (dato medido) = 800 m
- Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams $C = 150$
- Cota cámara de quiebre 2 (Figura 7) = 1.396 msnm
- Cota PTAP (Figura 7): 1.340 msnm

Cálculo de parámetros para el tramo 3

$$\text{➤ Pendiente del terreno} = \frac{1.396 - 1.340}{800} = 0,07$$

$$\text{➤ Pendiente de carga } S = \left(\frac{Q}{0,2785 C D^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}} = 0,00308 \text{ m/m}$$

$$\text{➤ Área } A = \frac{\pi}{4} D^2 = 0,0506 \text{ m}^2$$

$$\text{➤ Perímetro mojado } \pi D = 0,797 \text{ m}$$

$$\text{➤ Radio hidráulico } R_h = \frac{A}{P} = 0,0635 \text{ m}$$

⁸⁴Ibid., p.60.

⁸⁵Ibid., p.60.



- *Velocidad de flujo* $V = 0,8494 C R_h^{0,63} S^{0,54} = 0,98 \text{ m/s}$
- *Pérdidas máximas de carga* $h_{f_{max}} = \Delta Z = 56 \text{ m}$
- *Pérdida de carga* $h_f = 10,674 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,871}} * L = 2,46 \text{ m. c. a.}$

Se verificó que la velocidad de flujo cumple con los parámetros establecidos en la RAS-2000⁸⁶.

A continuación se verifica la presión de la tubería.

$$\text{Presión máxima: } 1.396 \text{ m} - 1.340 \text{ m} = 56 \text{ m}$$

$$\text{Presión de diseño: } 1,3 * 56 \text{ m} = 72,80 \text{ m}$$

$$\text{Presión nominal tubería PVC RDE 21: } 15 \text{ Kg/cm}^2 = 150 \text{ m}$$

La presión nominal de la tubería es mayor a la presión de diseño, por ende cumple lo establecido en la norma RAS-2000⁸⁷.

- **Línea de energía de la tubería de conducción**

Con el fin de conocer el comportamiento de las pérdidas de energía a lo largo de la tubería de conducción, se realizan los cálculos y el trazado de la línea piezométrica. En la Tabla 81 se presenta esos cálculos y la Figura 54 se muestra gráficamente la línea piezométrica. Para el trazado de la figura 54 no se tuvo en cuenta el valor de la cabeza de velocidad, ya que sus valores son pequeños y pueden despreciarse.

⁸⁶Ibid., p.60.

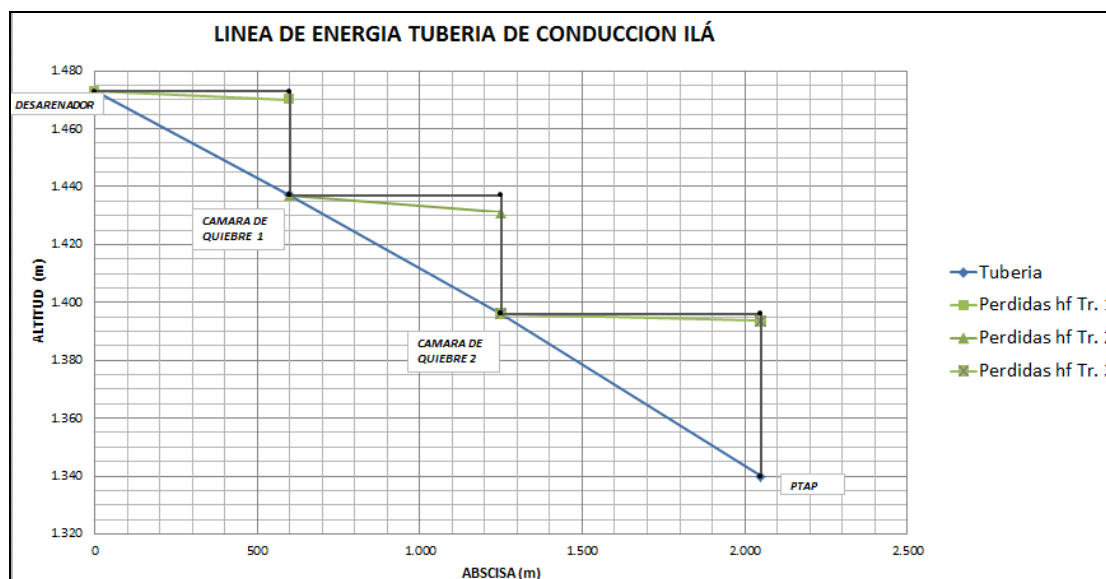
⁸⁷Ibid., p.60.



Tabla 81. Línea piezometrica actual de la tubería de conducción del río Ilá

		abscisa (m)	altura (msnm)	cabeza de velocidad (m)	pérdida hf (m)	cota línea piezometrica (m)
TRAMO 1	Desarenador	0	1.471	0,06	2,99	1.471,00
	cámara de quiebre 1	600	1.437			1.468,01
TRAMO 2	cámara de quiebre 1	600	1.437	0,12	5,94	1.437,00
	cámara de quiebre 2	1.250	1.396			1.431,06
TRAMO 3	cámara de quiebre. 2	1.250	1.396	0,05	2,46	1.396,00
	PTAP	2.050	1.340			1.393,53

Figura 54. Línea piezometrica actual de la tubería de conducción – río Ilá





7.4 REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS

A continuación se presenta el rediseño u optimización de las diferentes estructuras hidráulicas, con el fin de conocer su funcionamiento para el final del periodo de estudio (2038).

7.4.1 Rediseño tubería de conducción río Perucho

○ Tramo 3 cámara 2 – PTAP

La tubería de conducción en el tramo tres presenta déficit en su funcionamiento, ya que debido a los diámetros que actualmente posee (4" y 3") no puede transportar el caudal suministrado por el desarenador (26,40 L/s), por tal razón se deriva parte de ese caudal (14 L/s) hacia la tubería de conducción del río Ilá. Por consiguiente, se diseñará este tramo con el fin de que tenga la capacidad de conducir el caudal total suministrado por el desarenador, es decir 26,4 L/s, eliminando así la derivación hacia la tubería de conducción del río Ilá.

El rediseño del tramo se hará con una combinación de diámetros de 6" y 4".

Los parámetros básicos para la tubería de 6" son los siguientes:

- Caudal $Q = 0,0264 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diámetro (6")(dato medido) $D = 0,1524 \text{ m}$
- Material (información obtenida en campo): PVC
- Tipo de tubería (información obtenida en campo): RDE 21
- Presión de trabajo de la tubería: 140 Kg/m^2
- Longitud real de tubería (dato medido) = 400 m
- Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams $C=150$
- Cota cámara 2 Perucho (Figura 7)(dato medido) = 1.441 msnm
- Cota donde se reduce de diámetro(dato medido): 1.420 msnm



Cálculo de parámetros para tubería de 6"

- *Pendiente del terreno* = $\frac{1.441 - 1.420}{400} = 0,0525$
- *Pendiente de carga* $S = \left(\frac{Q}{0,2785 C D^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}} = 0,0113 \text{ m/m}$
- *Área* $A = \frac{\pi}{4} D^2 = 0,0184 \text{ m}^2$
- *Perímetro mojado* $\pi D = 0,4787 \text{ m}$
- *Radio hidráulico* $R_h = \frac{A}{p} = 0,0381 \text{ m}$
- *Velocidad de flujo* $V = 0,8494 C R_h^{0,63} S^{0,54} = 1,44 \text{ m/s}$
- *Pérdidas máximas de carga* $h_{f_{max}} = \Delta Z = 21 \text{ m}$
- *Pérdida de carga* $h_f = 10,674 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,871}} * L = 4,54 \text{ m. c. a.}$

Se verificó que la velocidad de flujo cumple con lo requerido por la RAS-2000.

A continuación se verifica la presión de la tubería.

$$\text{Presión máxima: } 1.441 \text{ m} - 1.420 \text{ m} = 21 \text{ m}$$

$$\text{Presión de diseño: } 1,3 * 21 \text{ m} = 27,3 \text{ m}$$

$$\text{Presión nominal tubería RDE 21: } 14,06 \text{ Kg/cm}^2 = 140 \text{ m}$$

La presión nominal de la tubería es mayor a la presión de diseño; por ende, cumple con lo establecido en la norma RAS-2000⁸⁸.

Los parámetros básicos de la tubería de 4" son los siguientes:

- Caudal $Q = 0,0264 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diámetro (4") $D = 0,1016 \text{ m}$
- Material: PVC
- Tipo de tubería: RDE 21
- Presión de trabajo de la tubería: 140 Kg/m^2
- Longitud real de tubería = 900 m
- Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams $C = 150$
- Cota donde se reduce el diámetro: 1.420 msnm
- Cota PTAP (figura 7): 1.340 msnm

⁸⁸ Ibid. p.110.



Cálculo de parámetros para tubería de 4"

- *Pendiente del terreno* = $\frac{1.420 - 1.340}{900} = 0,088$
- *Pendiente de carga* $S = \left(\frac{Q}{0,2785 C D^{2,65}} \right)^{0,54} = 0,0817 \text{ m/m}$
- *Área* $A = \frac{\pi}{4} D^2 = 0,008107 \text{ m}^2$
- *Perímetro mojado* $\pi D = 0,3191 \text{ m}$
- *Radio hidráulico* $R_h = \frac{A}{p} = 0,0254 \text{ m}$
- *Velocidad de flujo* $V = 0,8494 C R_h^{0,63} S^{0,54} = 3,26 \text{ m/s}$
- *Pérdidas máximas de carga* $h_{f_{max}} = \Delta Z = 80 \text{ m}$
- *Pérdida de carga* $h_f = 10,674 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,871}} * L = 73,62 \text{ m. c. a.}$

Se verificó que la velocidad de flujo cumple con los parámetros establecidos en la RAS-2000⁸⁹ ya que se encuentra entre 0,6 m/s y 6,0 m/s.

A continuación se verifica la presión de la tubería.

$$\text{Presión máxima: } 1.420 \text{ m} - 1.340 \text{ m} = 80 \text{ m}$$

$$\text{Presión de diseño: } 1,3 * 80 \text{ m} = 104 \text{ m}$$

$$\text{Presión nominal tubería RDE 21: } 14,06 \text{ Kg/cm}^2 = 140 \text{ m}$$

La presión nominal de la tubería es mayor a la presión de diseño; por ende, cumple con lo requerido por la norma RAS-2000⁹⁰.

- **Línea de energía de la tubería de conducción del río Perucho en el año 2038**

Con el fin de conocer el comportamiento de las pérdidas de energía a lo largo de la tubería de conducción, se realizan los cálculos y el trazado de la línea piezométrica. En la tabla 82 se presentan esos cálculos y en la Figura 55 se muestra gráficamente la línea piezométrica. Para el trazado de la figura 55 no se tuvo en cuenta el valor de la cabeza de velocidad ya que sus valores son pequeños y pueden despreciarse.

⁸⁹ Ibid. p.110.

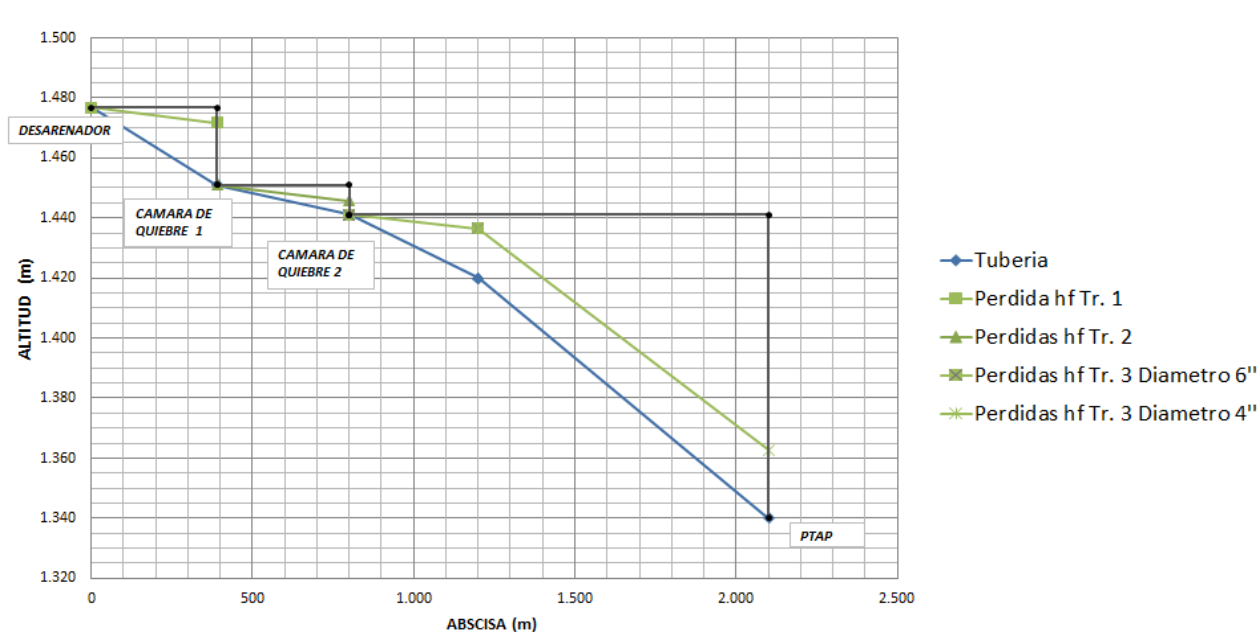
⁹⁰ Ibid. p.110.



Tabla 82 Línea piezométrica de la tubería de conducción para el año 2038 del río Perucho

		abscisa (m)	altura (msnm)	cabeza de velocidad (m)	pérdida hf (m)	cota línea piezometrica (m)
TRAMO 1	Desarenador	0	1.477	0,11	5,03	1.476,80
	cámara de quiebre 1	390	1.451			1.471,77
TRAMO 2	cámara de quiebre 1	390	1.451	0,11	5,29	1.451,00
	cámara de quiebre 2	800	1.441			1.445,71
TRAMO 3	cámara de quiebre 2	800	1.441	0,09	4,54	1.441,00
	reducción de tubería a 4"	1.200	1.420			1.436,46
	reducción de tubería a 4"	1.200	1.420	0,47	73,63	1.436,46
	PTAP	2.100	1.340			1.362,83

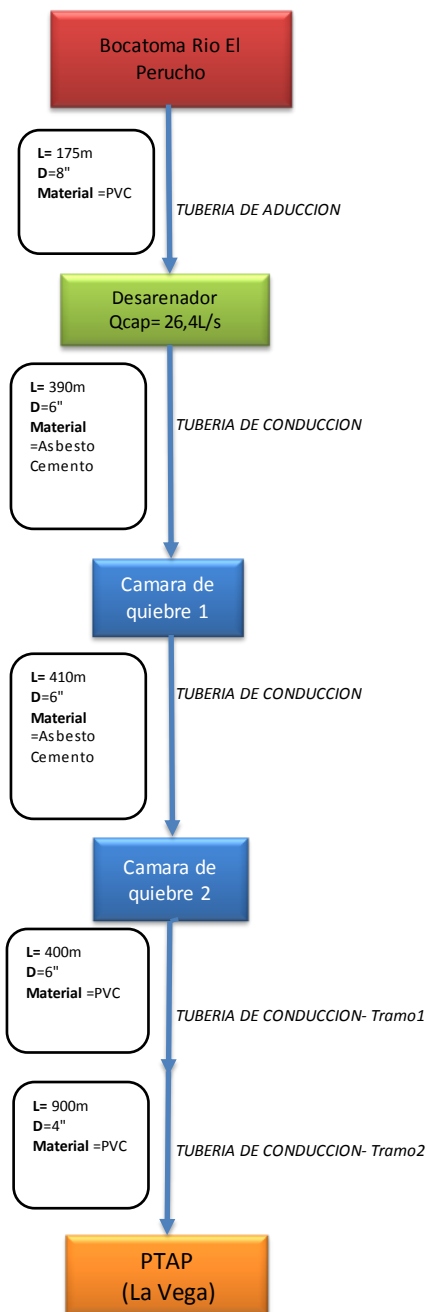
Figura 55. Línea piezométrica de la tubería de conducción para el año 2038 del río Perucho





La figura 56 se muestra el funcionamiento futuro del sistema de abastecimiento del río Perucho, una vez realizado el rediseño del tramo 3 de la tubería de conducción.

Figura 56. Esquema de operación para el año 2038 del sistema de captación, aducción y conducción río Perucho.





7.4.2 Comprobación de estructuras hidráulicas del río Ilá para el año 2038

Debido a que el río Ilá será la corriente que soportara la totalidad de la demanda de la población para el año 2038 en época de sequía (según lo informado por el Acueducto municipal), es necesario comprobar su funcionamiento con el caudal demandado para dicho año el cual es 45,85 L/s más 14% de pérdidas correspondientes a la aducción, conducción y operación de la PTAP, es decir un caudal de 52,27 L/s.

Los parámetros y el procedimiento a seguir son similares a los de la verificación presentada en el título anterior exceptuando el valor del caudal de entrada, cuyo valor de caudal de entrada es de $Q = 0,05227$ L/s

- **Cálculo de parámetros tubería de aducción**

- *Pendiente de la tubería* $S = \frac{1.476 - 1.472,8}{144} = 0,022$

- *Caudal a tubo lleno* $Q_0 = 0,312 * \frac{D^{8/3} * S^{1/2}}{n} = 0,07375 \frac{m^3}{s} = 73,75 \text{ l/s}$

- *Área tubería llena* $A_0 = 0,0324 \text{ m}^2$

- *Perímetro mojado tubería* $P_0 = 0,638 \text{ m}$

- *Radio hidráulico* $R_h = \frac{A_0}{P_0} = 0,051 \text{ m}$

- *Velocidad a tubo lleno:* $V_0 = \frac{Q_0}{A_0} = 2,274 \text{ m/s}$

Luego para un valor de $Q_0 = 0,07375 \text{ m}^3/\text{s}$, se obtiene que

- *Relación* $Q/Q_0 = 0,71$



Relaciones hidráulicas⁹¹ correspondientes son:

- Vr/Vo: 0,951
- d/D: 0,699
- R/Ro: 1,179

Con base en las relaciones hidráulicas anteriores, las características de funcionamiento de la tubería de aducción serán:

$$Vr = 0,951 * 2,274 = 2,163 \text{ m/s}$$

$$d = 0,699 * 0,2032 = 0,142 \text{ m}$$

$$R = 1,179 * 0,051 = 0,060 \text{ m}$$

El valor de la pérdida de carga en la tubería será:

$$h_f = 10,3 * n^2 * \frac{Q^2}{D^{5,33}} * L$$

$$h_f = 2,262 \text{ m}$$

7.2.1 Diseño de desarenador río llá

Como se evidencio en el titulo anterior, la capacidad del desarenador del río llá será inferior al caudal demandado por la población en el año 2038, por tal razón es necesario realizar el diseño de un nuevo desarenador.

El caudal que se utiliza para el cálculo del desarenador es el QMD para el año 2038, como lo recomienda la norma RAS 2000⁹² en el titulo B.4.4.6.2. Dicho valor se toma del capítulo cinco del presente trabajo y es igual a 45,85 L/s. La norma RAS 2000⁹³ recomienda diseñar con el QMD y sumar las pérdidas por aducción

⁹¹ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfonso. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Op. cit. p.171

⁹²Ibid., p.59.

⁹³Ibid., p.35.



(5%), planta (5%), conducción (4%), razón por la que el valor del caudal con el que se diseñará el desarenador es de 52,27 L/s.

Los cálculos de la sedimentación, se basan en la teoría desarrollada por Hazen y Stokes, cuya ecuación determina la velocidad de sedimentación.

$$V_s = \frac{g (\rho_s - \rho)}{18 \mu} d^2 = 0,23 \text{ cm/s}$$

Dónde:

- Peso específico de la arena (ρ_s) = 2,65 Kg/cm²
- Peso específico del agua (ρ) = 1,00 Kg/cm²
- Viscosidad cinemática 22° (μ) = 0,0096 cm²/s
- Diámetro de partícula (d) = 0,05 mm
- Gravedad (g) = 981 cm/s²

Una vez determinada la velocidad de sedimentación, se obtiene el número de Hazen usando los valores de la Tabla 83, número necesario para calcular el tiempo que necesita una partícula para sedimentarse (t) y el periodo de retención hidráulico (Φ).

Para ello se adopta un desarenador con condiciones n (grado de desarenador) =1 y que posea una remoción del 75% (valores adoptados de la norma RAS 2000⁹⁴).

Tabla 83. Número de Hazen

Condiciones	Remocion (%)							
	87,5	80	75	70	65	60	55	50
n=1	7	4	3	2,3	1,8	1,5	1	1
n=3	2,75		1,7					0,8
n=4	2,37		1,5					0,7
maximo teorico	0,88		0,8					0,5

⁹⁴Ibid., p.60.



El valor obtenido en la Tabla 83 es igual a:

$$\frac{\phi}{t} = 3,00$$

Se adopta un valor de profundidad útil de sedimentación de $H= 1,5$ m, como sugiere la norma RAS 2000⁹⁵, y se determina el tiempo que tardaría una partícula de diámetro igual a 0,05 mm en llegar al fondo:

$$t = \frac{H}{V_s}$$

$$t = \frac{150}{0,23} = 652,17 \text{ seg}$$

El periodo de retención hidráulica se determina a partir del número de Hazen y el tiempo de retención hidráulico hallado:

$$\phi = 3,00 * t = 1956,51 \text{ seg} = 0,54 \text{ h}$$

El valor de retención hidráulico debe cumplir que:

$$0,5 \text{ hr} < \phi < 4 \text{ hr cumple}$$

El volumen del tanque se determina de la siguiente manera.

$$V = \phi Q = 1956,51 * 0,05227 = 102,26$$

Área disponible superficial del tanque.

$$A_s = \frac{V}{H} = \frac{102,26}{1,50} = 68,17$$

Las dimensiones del tanque son, teniendo en cuenta que la relación de longitud a ancho se sugiere sea 4:1, son:

$$B = \sqrt{A_s/4} = 4,1 \text{ m}$$

⁹⁵Ibid., p.60.



$$L = 4B = 16,5 \text{ m}$$

Posteriormente se determina la carga hidráulica para el tanque mediante la siguiente ecuación.

$$q = \frac{Q}{A_s}$$

$$q = \frac{0,05227}{68,17} = 0,0008 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = 66,25 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}}$$

Por consiguiente, se cumple la relación propuesta que indica que:

$$15 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}} < q < 80 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}}$$

La carga hidráulica superficial corresponde a la velocidad de sedimentación de la partícula crítica bajo condiciones teóricas; sin embargo, V_0 es la velocidad correspondiente a una partícula de diámetro menor. A continuación se determina el diámetro de la partícula para la cual corresponde dicha carga hidráulica

$$V_0 = q = 0,00078 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,08 \text{ cm/s}$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{V_0 \cdot 18 \cdot \mu}{g \cdot (\rho_s - \rho)}} = 0,0029 \text{ cm} = 0,03 \text{ mm}$$

También se demostró anteriormente que la relación de los tiempos, es igual a la relación de las velocidades, es decir.

$$\frac{\phi}{t} = \frac{V_s}{V_0} = \frac{0,23}{0,08} \cong 3,00$$

En condiciones teóricas se removerán partículas hasta un diámetro de 0,03 mm pero al tener en consideración las condiciones reales (flujo no uniforme, corrientes



de densidad, zonas muertas y velocidad horizontal variable) el diámetro máximo posible de ser removido se adopta de 0,05 mm.

A continuación se determina la velocidad horizontal, la velocidad máxima horizontal y la velocidad de re-suspensión de la partícula.

- Determinación de velocidad horizontal

$$V_h = \frac{Q}{BH} = \frac{V_o L}{H} = \frac{0,08 * 16,5}{1,5} = 0,88 \frac{cm}{s}$$

- Determinación de velocidad horizontal máxima

$$V_{hmax} = 20 V_s = 20 * 0,23 = 4,67 \frac{cm}{s}$$

El valor anteriormente determinado cumple con lo estipulado por la norma RAS 2000⁹⁶ que enuncia que la V_h debe ser menor a 0,25 m/s.

- Velocidad de re-suspensión máxima: la velocidad horizontal debe ser inferior a la velocidad de re-suspensión.

$$V_r = \sqrt{\frac{8K}{f} g(\rho_s - \rho)d} = 9,29 \text{ cm/s} \quad V_h < V_r \quad \text{Cumple}$$

Dónde:

k: factor de forma (0,04 para sedimentación de arenas unigranulares no adheribles)

f: factor de rugosidad de la cámara 0,03

➤ *Condiciones de operación de los módulos*

Se debe garantizar la operación continua de la PTAP. De esta manera se debe contemplar que en algún momento solo podrá trabajar uno de los dos módulos del desarenador, debiendo este satisfacer la demanda de la PTAP. Así es necesario

⁹⁶ibid., p.60.



conocer las condiciones de operación de solo un módulo (periodo de retención hidráulica y carga hidráulica). El caudal de operación será igual al caudal medio diario al año 2038.

$$Q_m: 0.03821 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\phi = \frac{V}{Q} = \frac{102,26}{0,03821} = 2676,26 \text{ seg} = 0,74 \text{ hr}$$

$$q = \frac{Q}{A_s} = \frac{0,03821}{68,17} * 86400 = 48,43 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{día}}$$

Se cumple satisfactoriamente la relación estipulada que enuncia:

$$15 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{día}} < q < 80 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{día}}$$

En esta condición temporal, es posible que se presente una disminución en la eficiencia del desarenador.

- *Cálculo de elementos del desarenador*

A continuación se determinan para el vertedero de salida la altura de lámina de agua y la velocidad.

- Vertedero de salida

$$H_v = \left(\frac{Q}{1,84 B} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{0,05227}{1,84 * 4,1} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,036 \text{ m}$$

$$V_v = \left(\frac{Q}{BH_v} \right) = \left(\frac{0,05227}{4,1 * 0,036} \right) = 0,351 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La velocidad sobre la cresta del vertedero debe ser mayor a 0,3 m/s para poder aplicar la ecuación de alcance del chorro, lo cual se cumple. Se procede a aplicar la ecuación de un chorro y de esta manera se halla la longitud del vertedero.



$$X_s = 0,36 V v^{\frac{2}{3}} + 0,6 H v^{\frac{4}{7}}$$

$$X_s = 0,36 * 0,351^{\frac{2}{3}} + 0,6 * 0,036^{\frac{4}{7}} = 0,27m$$

$$L_v = X_s + 0,10 = 0,37; \text{ Se adopta } L_v = 0,40 \text{ m}$$

Pantalla de salida:

Profundidad: $H/2 = 1,5/2 = 0,75m$

Distancia al de vertedero salida: $15 * H_v = 0,55 \text{ m}$

- *Pantalla de entrada*

Profundidad: $H/2 = 0,75m$

Distancia a la cámara de quietamiento: $L/4 = 16,5/4 = 4,1 \text{ m}$

- *Almacenamiento de lodos:*

Relación longitud profundidad de lodos (adoptada): 10

Profundidad máxima: $16,5/10 = 1.65 \text{ m}$

Profundidad máxima adoptada: 1,00 m

Profundidad mínima adoptada: 0,80 m

- *Distancia punto de salida de vertedero a cámara de quietamiento:*

$$L/3 = 5,5 \text{ m}$$

- *Distancia punto de salida de vertedero salida:* $2L/3 = 11,00 \text{ m}$

- *Pendiente trasversal:*

$$\frac{1,00 - 0,8}{4,1} = 4,88\%$$

- *Pendiente longitudinal en (L/3)*

$$\frac{0,2}{5,5} = 3,6\%$$



- *Pendiente longitudinal en (2L/3)*

$$\frac{0,2}{11} = 1,81\%$$

A continuación se muestra en las Figuras 57 y 58 unos esquemas que representan las pendientes del desarenador.

Figura 57. Pendiente longitudinal del desarenador río llá

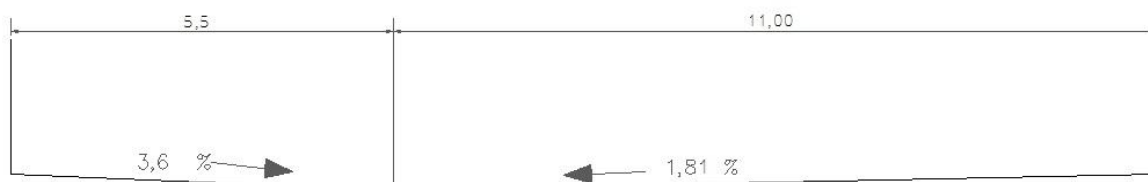
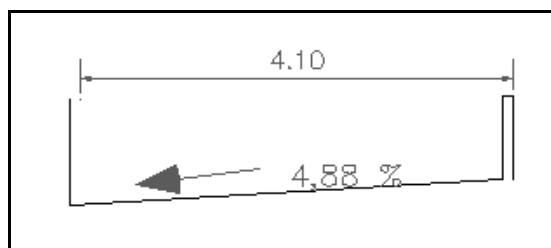


Figura 58. Pendiente transversal del desarenador río llá



o *Cálculo de cámara de quietamiento*

Profundidad: $H/3 = 1,5/3 = 0,50$ m

Ancho: $B/3 = 4,1/3 = 1,37$ m

Largo L_e (adoptado): 1,00 m

- Rebose de cámara de quietamiento: El rebose de la cámara de quietamiento hace referencia a la determinación del caudal de exceso, la lámina de agua y la velocidad correspondiente al mismo.

$$Q_{ex} = Q_0 - Q = 0,0738 - 0,0523 = 0,0215 \text{ m}^3/\text{s}$$



$$H_{ex} = \left(\frac{Q_{ex}}{1,84 Le} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{0,02}{1,84 * 1,00} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,0514 \text{ m}$$

$$V_{ex} = \frac{Q_{ex}}{H_{ex} Le} = \frac{0,02}{0,0514 * 1} = 0,389 \text{ m/s}$$

Mediante la ecuación de alcance de chorro se obtiene el

$$Xs = 0,36V_{ex}^{\frac{2}{3}} + 0,6 H_{ex}^{\frac{4}{7}} = 0,54\text{m}$$

$$Lr = Xs + 0,10 = 0,64$$

Sin embargo el ancho del canal se establece a partir de la siguiente formula

$$\frac{B - \text{Ancho}}{2} = \frac{4,1 - 1,37}{2} = 1,365\text{m}$$

Para el ancho del canal se adopta el valor mayor, es decir 1,37 m.

A continuación se presentan los diagramas correspondientes al diseño de desarenador. (Ver Figuras 59 y 60).



Figura 59. Vista en planta desarenador río Ilá

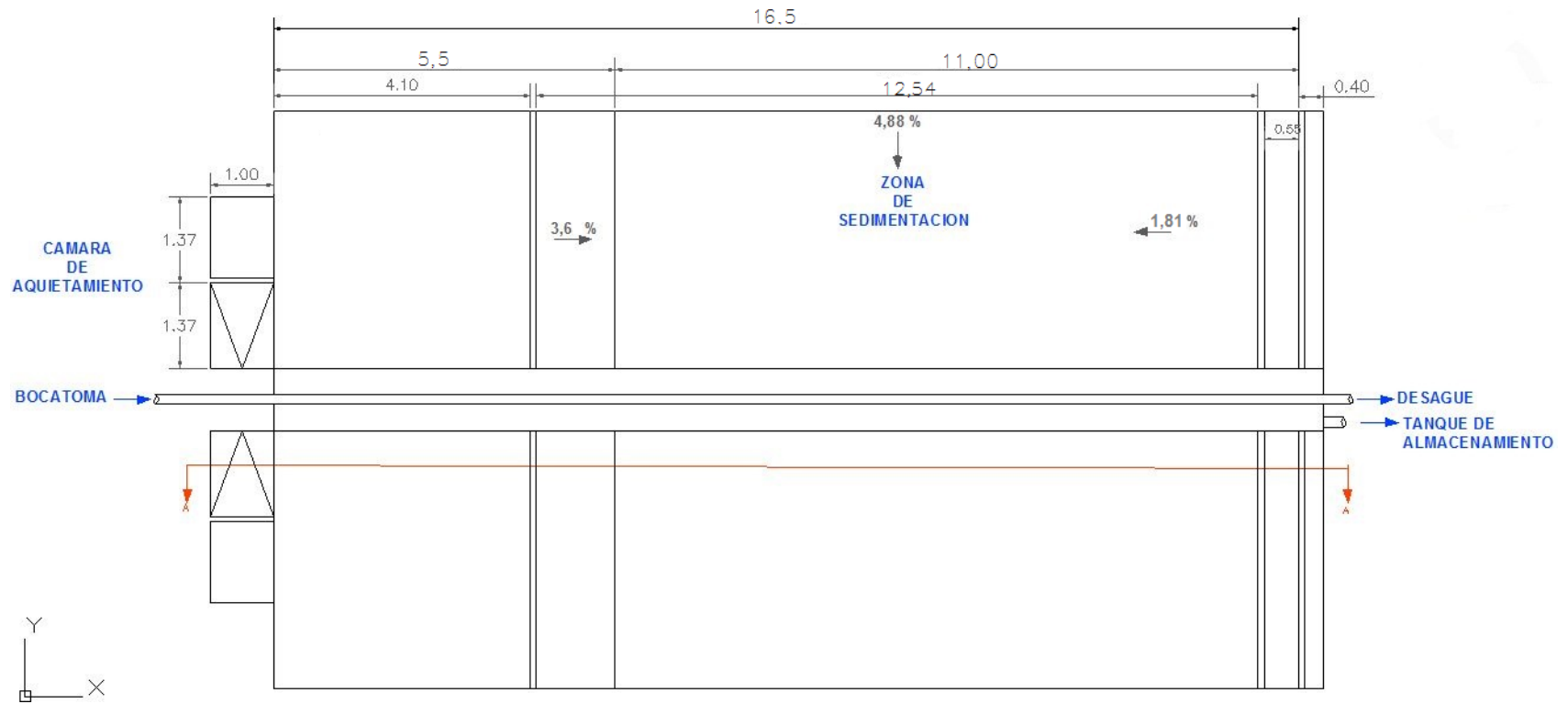
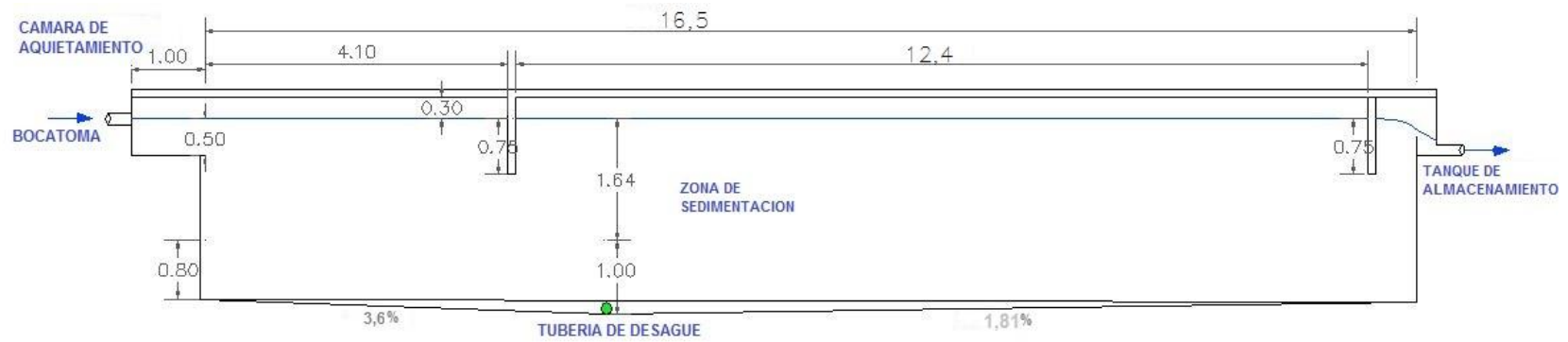




Figura 60. Vista perfil del desarenador río Ilá (corte A-A)





- **Tubería de conducción**

Debido a que el río Ilá será la fuente que soportara la demanda de la población para el año 2038 (0,05227 L/s) en época de sequía, es necesario evaluar y calificar el funcionamiento de la tubería cuando conduzca dicho caudal. Por tal razón a continuación se presenta la comprobación de la tubería, y se obtiene la línea piezométrica correspondiente.

Los parámetros básicos son iguales a los anteriormente expuestos para el tramo, con la excepción del caudal cuyo valor ahora es 0,05227 m³/s

Caudal $Q = 0,05227 \text{ m}^3/\text{s}$

Coefficiente de rugosidad de Hazen y Williams $C: 150$

Diámetro de la tubería (8"): 0,2032 m

- **Tramo 1: Desarenador a cámara de quiebre 1**

Calculo de parámetros para la tubería

➤ *Pendiente del terreno* = $\frac{1.471 - 1.437}{600} = 0,056$

➤ *Pendiente de carga S* = $\left(\frac{Q}{0,2785 C D^{2,63}}\right)^{\frac{1}{0,54}} = 0,00989 \text{ m/m}$

➤ *Área A* = $\frac{\pi}{4} D^2 = 0,0324 \text{ m}^2$

➤ *Perímetro mojado πD* = 0,638 m

➤ *Radio hidráulico R_h* = $\frac{A}{P} = 0,0508 \text{ m}$

➤ *Velocidad de flujo V* = $0,8494 C R_h^{0,63} S^{0,54} = 1,61 \text{ m/s}$

➤ *Pérdidas máximas de carga $h_{f_{max}}$* = $\Delta Z = 34 \text{ m}$

➤ *Pérdida de carga h_f* = $10,674 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,871}} * L = 5,93 \text{ m. c. a.}$

Se verificó que la velocidad de flujo cumple con los parámetros establecidos en la RAS-2000⁹⁷.

⁹⁷Ibid., p.60.



A continuación se verifica la presión de la tubería.

$$\text{Presión máxima: } 1.471 \text{ m} - 1.437 \text{ m} = 34 \text{ m}$$

$$\text{Presión de diseño: } 1,3 * 34 \text{ m} = 44,20 \text{ m}$$

$$\text{Presión nominal tubería PVC RDE 21: } 15 \text{ Kg/cm}^2 = 150 \text{ m}$$

La presión nominal de la tubería es mayor a la presión de diseño; por ende, se cumple con lo establecido en la norma RAS-2000⁹⁸.

○ **Tramo 2: Cámara de quiebre 1 a Cámara de quiebre 2**

Los parámetros básicos de la tubería son:

$$\text{Caudal } Q = 0,05227 \text{ m}^3/\text{s}$$

Coefficiente de rugosidad de Hazen y Williams C: 150

Diámetro de la tubería (8"): 0,2032 m

Cálculo de parámetros para la tubería

$$\text{➤ Pendiente del terreno} = \frac{1.437 - 1.396}{650} = 0,063$$

$$\text{➤ Pendiente de carga } S = \left(\frac{Q}{0,2785 C D^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}} = 0,00989 \text{ m/m}$$

$$\text{➤ Área } A = \frac{\pi}{4} D^2 = 0,0324 \text{ m}^2$$

$$\text{➤ Perímetro mojado } \pi D = 0,638 \text{ m}$$

$$\text{➤ Radio hidráulico } R_h = \frac{A}{P} = 0,0508 \text{ m}$$

$$\text{➤ Velocidad de flujo } V = 0,8494 C R_h^{0,63} S^{0,54} = 1,61 \text{ m/s}$$

$$\text{➤ Pérdidas máximas de carga } h_{f_{max}} = \Delta Z = 41 \text{ m}$$

$$\text{➤ Pérdida de carga } h_f = 10,674 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,871}} * L = 6,43 \text{ m. c. a.}$$

Se verificó que la velocidad de flujo cumple con los parámetros establecidos en la RAS-2000⁹⁹.

⁹⁸Ibid., p.60.

⁹⁹Ibid., p.60.



A continuación se verifica la presión de la tubería.

$$\text{Presión máxima: } 1.437 \text{ m} - 1.396 \text{ m} = 41 \text{ m}$$

$$\text{Presión de diseño: } 1,3 * 41 \text{ m} = 53,3 \text{ m}$$

$$\text{Presión nominal tubería PVC RDE 21: } 15 \text{ Kg/cm}^2 = 150 \text{ m}$$

La presión nominal de la tubería es mayor a la presión de diseño, por ende cumple lo establecido en la norma RAS-2000¹⁰⁰.

○ **Tramo 3 Cámara de quiebre 2- PTAP**

Los parámetros básicos de la tubería son:

$$\text{Caudal } Q = 0,05227 \text{ m}^3/\text{s}$$

Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams C: 150

Diámetro de la tubería (10''): 0,254 m

Cálculo de parámetros para la tubería

$$\text{➤ Pendiente del terreno} = \frac{1.396 - 1.340}{800} = 0,07$$

$$\text{➤ Pendiente de carga } S = \left(\frac{Q}{0,2785 C D^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}} = 0,00333 \text{ m/m}$$

$$\text{➤ Área } A = \frac{\pi}{4} D^2 = 0,0506 \text{ m}^2$$

$$\text{➤ Perímetro mojado } \pi D = 0,797 \text{ m}$$

$$\text{➤ Radio hidráulico } R_h = \frac{A}{P} = 0,0635 \text{ m}$$

$$\text{➤ Velocidad de flujo } V = 0,8494 C R_h^{0,63} S^{0,54} = 1,031 \text{ m/s}$$

$$\text{➤ Pérdidas máximas de carga } h_{f_{max}} = \Delta Z = 56 \text{ m}$$

$$\text{➤ Pérdida de carga } h_f = 10,674 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,871}} * L = 2,67 \text{ m. c. a.}$$

Se verificó que la velocidad de flujo cumple con los parámetros establecidos en la RAS-2000¹⁰¹.

¹⁰⁰Ibid., p.60.



A continuación se verifica la presión de la tubería.

$$\text{Presión máxima: } 1.396 \text{ m} - 1.340 \text{ m} = 56 \text{ m}$$

$$\text{Presión de diseño: } 1,3 * 56 \text{ m} = 72,80 \text{ m}$$

$$\text{Presión nominal tubería PVC RDE 21: } 15 \text{ Kg/cm}^2 = 150 \text{ m}$$

La presión nominal de la tubería es mayor a la presión de diseño, por ende cumple lo establecido en la norma RAS-2000¹⁰².

- **Línea de energía de la tubería de conducción de río Ilá**

Una vez efectuada la comprobación de la tubería de conducción para que condujera el caudal demandado correspondiente al año 2038, se realiza el trazado de la línea de energía. En la Tabla 84 se presentan los valores que describen la línea piezométrica, y en la Figura 61 la representa gráficamente. En la Figura 61 no se tuvo en cuenta el valor de la cabeza de velocidad, ya que su magnitud es pequeña y puede despreciarse.

¹⁰¹Ibid., p.60.

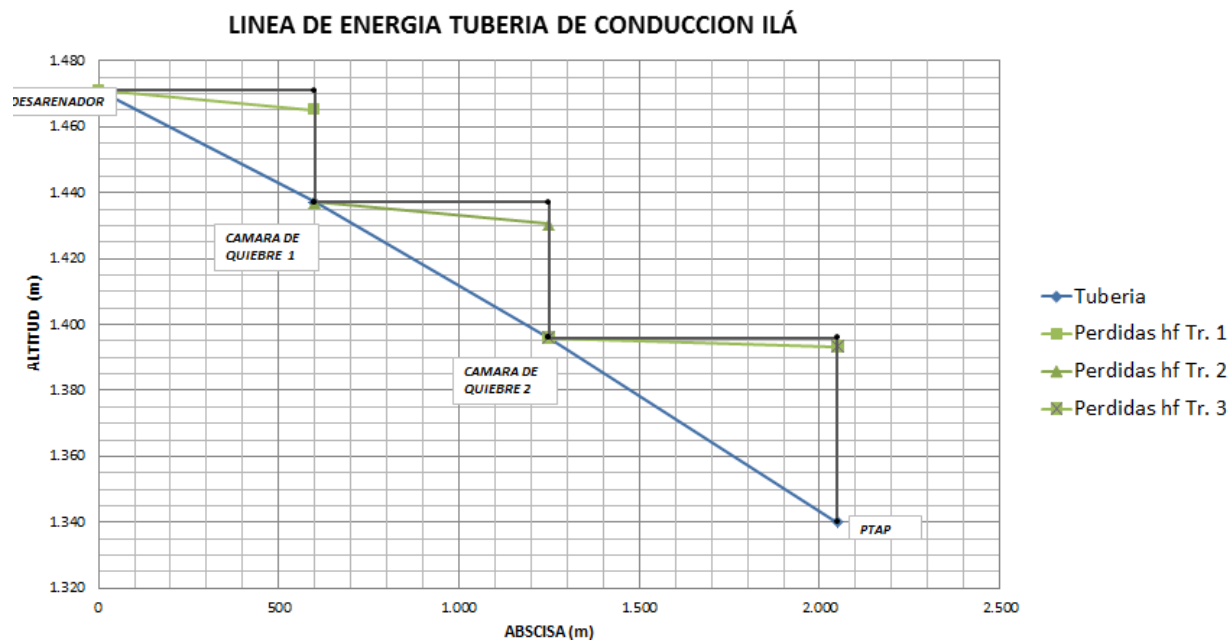
¹⁰²Ibid., p.60.



Tabla 84. Línea piezométrica de la tubería de conducción para el año 2038 del río Ilá

		abscisa (m)	altura (msnm)	cabeza de velocidad (m)	pérdida hf	cota línea piezometrica (m)
TRAMO 1	desarenador	0	1.471	0,13	5,94	1.471,00
	cámara de quiebre 1	600	1.437			1.465,06
TRAMO 2	cámara de quiebre 1	600	1.437	0,13	6,43	1.437,00
	cámara de quiebre 2	1.250	1.396			1.430,57
TRAMO 3	cámara de quiebre 2	1.250	1.396	0,05	2,67	1.396,00
	PTAP	2.050	1.340			1.393,33

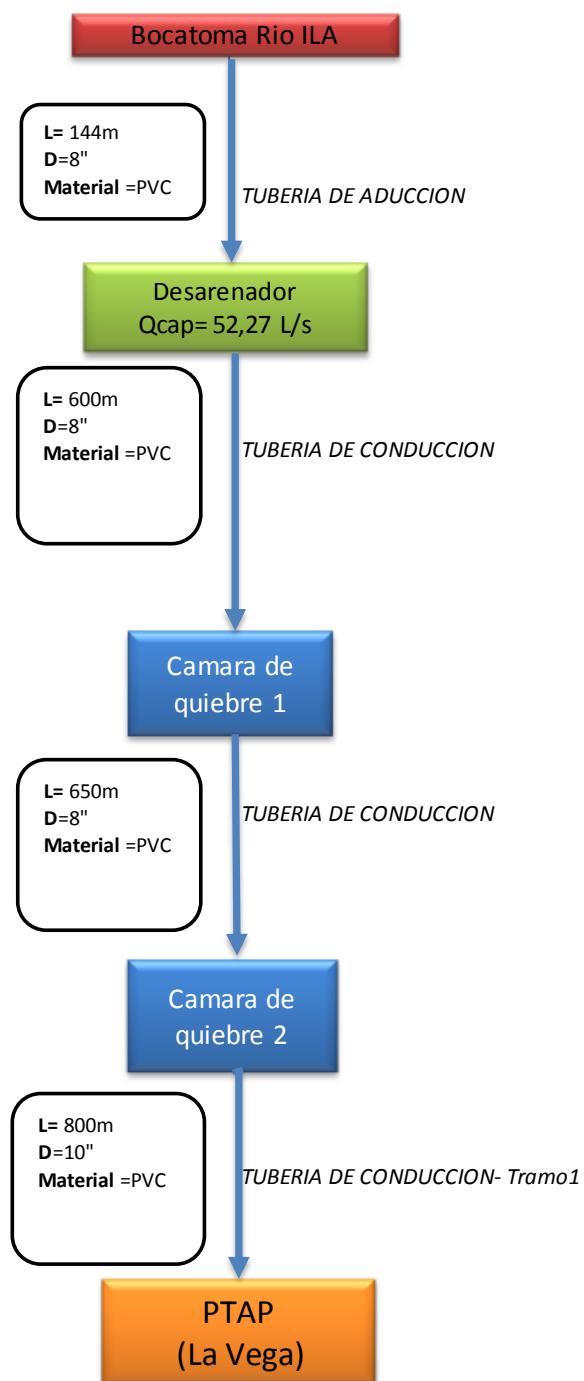
Figura 61. Línea piezométrica de la tubería de conducción para año 2038 – río Ilá





La figura 62 representa el funcionamiento futuro del sistema de captación, aducción y conducción del río Ilá.

Figura 62. Esquema de operación del sistema captación, aducción y conducción para el año 2038 del río Ilá.





7.5 MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS

El acueducto del municipio de la Vega ha informado sobre los problemas actuales que presentan las estructuras, tales como: mantenimiento, taponamientos por raíces y basuras, limpieza, deficiente control y seguimiento del funcionamiento de las misma; razón por la cual se recomienda crear un plan de mantenimiento conveniente y sujeto a la Norma RAS 2000-Titulo B “Mantenimiento correctivo y preventivo de obras de captación”¹⁰³, basándose en la norma y dado que no se lleva por parte del EAAA las acciones correspondientes para corregir los problemas anteriormente nombrados, se recomienda tener en cuenta lo siguiente:

A nivel operativo y técnico:

- Control de sedimentos: Conocer plenamente del tipo de sedimentos que se retienen en el desarenador, con el fin removerlo y así mantener un adecuado funcionamiento de la estructura, ya que por parte del EAAA no se está realizando.
- Limpieza de estructuras: El lavado y la limpieza de las estructuras se debe realizar semestralmente; de igual manera el canal ubicado aguas arriba se debe limpiar una vez al año o cuando la capacidad hidráulica se reduzca en un 15%:
- Mantenimiento Rejillas = Se debe realizar una vez cada seis meses.
- Mantenimiento desarenadores = Debe hacerse mantenimiento estructural y mecánico de todos los elementos que lo conforman, como difusores de flujo, uniformadores de flujo, compuertas, válvulas y vertederos como mínimo una vez cada seis meses.
- Mantenimiento tubería de aducción y conducción = La labores de mantenimiento deben realizarse siempre de manera preventiva cada

¹⁰³Ibid., p.71.



seis meses. La suspensión del servicio tendrá una duración máxima de 24 horas en caso de ser necesaria la suspensión del servicio.

- Tubería aducción: Se deben verificar los asentamientos en los anclajes al menos una vez al año; La limpieza se debe ejecutar, cuando la capacidad hidráulica máxima se reduzca en un 10% o cada seis meses. Se debe verificar como mínimo cada seis meses el estado de los accesorios que se encuentren a lo largo de la tubería.
- La operación de desinfección de las tuberías de aducción y conducción se debe realizar luego de cualquier proceso de reparación, siguiendo los procedimientos indicados en la Norma Técnica Colombiana NTC 4246.
- Actualmente la EAAA no cuenta con el funcionamiento de válvulas de paso en los desarenadores, razón por la cual cuando se realiza el lavado es necesario suspender el agua en la bocatoma generando así que el sistema quede desabastecido; ante esta situación se recomienda instalación de válvulas de paso por medio del sistema de bypass, para no tener que cortar el servicio cuando se le esté realizando el lavado al desarenador.

A nivel administrativo:

- Es importante controlar por medio de micro-medidores y macro-medidores el servicio; accesorios con los que la EAAA no cuenta actualmente, el uso de dichos accesorios permiten medir el consumo y así mismo analizar si se está presentando algún tipo de pérdidas en el sistema.
- Es obligatorio anotar la fecha del daño, tipo, causa, repuestos y procedimiento llevado a cabo para la reparación que requiera alguna de las estructuras que comprende el sistema de captación.



- La EAAA debe contar con personal calificado para la realización de cualquier procedimiento ya sea preventivo o correctivo, que sea llevado a cabo en las estructuras.

Llevar a cabo las modificaciones respectivas y sugeridas anteriormente, le permitirán al acueducto ofrecer un buen servicio, y a su vez mayor cobertura a medida que el municipio va aumentando en población y extensión.

7.6 DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

De acuerdo con información suministrada por el personal del acueducto municipal de La Vega, la red de distribución vigente cumple medianamente con la demanda actual de la población, debido a la clase de material de la tubería (asbesto cemento), a la edad de la misma y a su limitación de suministro; factores que generan grandes pérdidas en la red actual. Por tal razón es necesario rediseñarla y sustituirla, acorde al crecimiento de la población, ya que como se presentó en el capítulo cuatro del presente trabajo, la población aumentará y así mismo la necesidad de abastecimiento.

7.6.1 Distribución de caudales

Es necesario para el diseño de la red de distribución tener en cuenta que el acueducto de La Vega Cundinamarca beneficia tanto a la cabecera municipal como a algunas veredas cercanas por medio de venta de agua en bloque, tal como se mencionó en capítulos anteriores. Para determinar el caudal que llegará a los usuarios se toman las siguientes consideraciones:

- En la actualidad el municipio presta el servicio de suministro de agua en bloque a un 43% de la parte rural del mismo.
- No solo la cabecera va a crecer a futuro; también lo hará la población rural, por lo que no es conveniente mantener este porcentaje sino por



el contrario aumentarlo, situación que así se decidió por razones de equidad en la prestación de un servicio esencial para la comunidad.

- Como se mencionó en capítulos anteriores el acueducto de La Vega, Cundinamarca, vende agua en bloque a cuatro acueductos veredales (Rosario Asociación Usuarios, Ucrania Asociación Usuarios, Acualtorre y Aquapetaquero A.U.S.A vereda Petaquero).
- El conjunto de consumidores de la parte rural y la urbana suman el 100% anualmente en cuanto se refiere a cobertura del servicio. Tales porcentajes se distribuyen como se observan en la Tabla 85.

Tabla 85. Distribución de población municipio de La Vega Cundinamarca.

AÑO	POBLACION CABECERA		POBLACIÓN RURAL		POBACIÓN TOTAL	
2013	6.515	63%	3.827	37%	10.342	100%
2018	7.347	64%	4.204	36%	11.551	100%
2023	8.272	64%	4.585	36%	12.857	100%
2028	9.409	65%	4.977	35%	14.385	100%
2033	10.620	66%	5.379	34%	15.999	100%
2038	12.150	68%	5.791	32%	17.941	100%

Teniendo en cuenta la Tabla 55, se toma el caudal medio diario calculado en el capítulo cinco y se reparte a la cabecera municipal y población rural a abastecer por el acueducto en relación al respectivo valor de porcentaje correspondiente, como se observa en la Tabla 86.

Tabla 86. Caudal para cabecera y acueductos rurales.

AÑO	Qmd(L/S)	Cabecera (L/s)		Acueductos rurales (L/s)	
		Porcentaje	Qmd(L/S)	Porcentaje	Qmd(L/S)
2013	21,72	63%	13,7	37%	8,0
2018	24,26	64%	15,4	36%	8,8
2023	27,38	64%	17,6	36%	9,8
028	30,64	65%	20,0	35%	10,6
2033	34,07	66%	22,6	34%	11,5
2038	38,21	68%	25,9	32%	12,3

En el Anexo 5 se presenta el suministro a los acueductos veredales en el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2012, estos valores permiten



determinar la proporción del consumo de cada una de las cuatro veredas y estimar el consumo de las mismas, como se muestra en la Tabla 87.

Tabla 87 Consumo bimensual acueductos veredales.

Datos de usuario	Consumo (m ³ /bimestre)						SUMAS	%
	Ene-Feb (2012)	Mar-Abr (2012)	May-Jun (2012)	Jul-Ago (2012)	Sep-Oct (2012)	Nov-Dic (2012)		
Rosario Asociación Usuarios	498	366	254	23	17	547	1705	9,3
Ucrania Asociación Usuarios	113	502	876	1006	788	640	3925	21,5
Acualtorre	522	729	387	166	261	264	2329	12,7
Aquapetaquero A.U.S.A, VEREDA PETAQUEQUERO	1342	1234	1209	1293	1939	3294	10311	56,4
TOTAL CONSUMO (m³/año)							18270	100,0

Fuente: E.A.A.A la Vega Cundinamarca.

7.6.2 Cálculo de la red de distribución

Debido al mal estado actual de la red de distribución como ha sido manifestado por la EAAA, actualmente existen graves problemas de fugas por el mal estado de las tuberías y la clase de material de ellas (asbesto cemento), por cuanto las pérdidas ascienden a un porcentaje promedio del 42% del caudal que sale de la PTAP, valor verificado mediante los consumos facturados para los años 2011 y 2012. (Ver Anexo 5)

De otra parte, el acueducto actualmente no cuenta con micro medidores. Por consiguiente, conviene hacer un rediseño de la red con el fin de que la nueva red de distribución pueda soportar las demandas actual y futura. La norma RAS 2000 - Título B “Redes de distribución”¹⁰⁴ establece un periodo de diseño para nivel de complejidad Medio –Alto igual a 25 años, razón por la cual el presente diseño se realiza con alcance al año 2038.

¹⁰⁴Ibid., p.140.



Con ayuda de la información suministrada por el fontanero municipal, se realizó el Plano 9 de la red actual. Posteriormente se dibujó en AutoCAD, introduciendo las alturas reales del terreno, con el fin de tener un esquema detallado de las condiciones actuales y de las longitudes reales de la red, como se observa en ese plano.

Luego, se utilizó el programa EpaCAD, que reconoce el esquema realizado en el programa AutoCAD, con el objeto de adecuar la base de datos de AutoCAD a la del sistema EPANET. La norma RAS 2000- Título B “Redes de distribución”¹⁰⁵ establece que la red de distribución puede ser diseñada a través de un programa de computación como EPANET, que incluya medidas de presión y caudal. El grafico obtenido se muestra en la Figura 63.

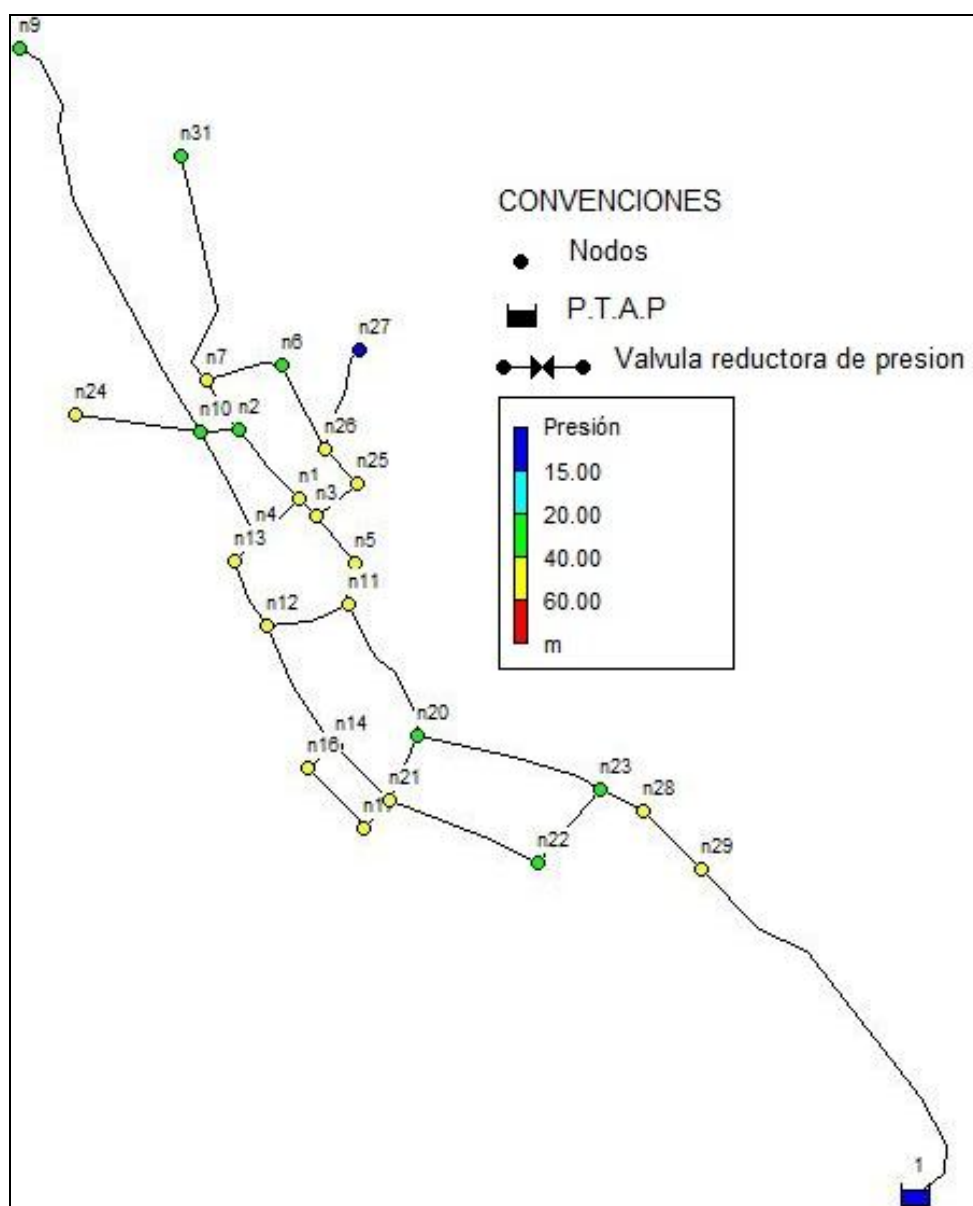
Partiendo de la red ensamblada en EPA CAD (Figura 63), se suministran a la red de distribución actual otras características (como el valor de elevación la PTAP, 1340 msnm) necesarias para su proceso mediante el software correspondiente.

Como se aprecia en la Figura 63, la red cuenta además de la PTAP con nodos y líneas: las líneas corresponden a las tuberías (longitud y diámetro) y los nodos son aquellos puntos donde hay una demanda de agua (alturas y el caudal de salida en ese punto).

¹⁰⁵Ibid., p.149.



Figura 63. Esquema inicial red de acueducto.



A partir de lo anterior, se procede a ingresar los datos actuales de la red con el fin de corroborar su estado actual en los nodos y en las tuberías. El resultado se observa en las Tablas 88 y 89. Además como se observa en la Figura 60, en muchas de las tuberías, no se cumple con el diámetro menor (150mm o 6”) según la Norma RAS 2000-Titulo B¹⁰⁶.

¹⁰⁶Ibid., p.141.



Tabla 88. Información actual de los nodos.

Nodo	Demanda (L/s)	Altura (msnm)	Presión (mca)
Conexiónn1	0,37	1209,61	42
Conexiónn2	0,56	1204,18	35
Conexiónn3	0,28	1212,17	42,04
Conexiónn4	0,69	1206,36	37
Conexiónn5	0,38	1217,96	40
Conexiónn6	0,19	1205,12	37
Conexiónn7	1,78	1203,4	41,27
Conexiónn9	3,88	1194,54	35,87
Conexiónn10	2,23	1203,65	35
Conexiónn11	1,35	1222,31	40,84
Conexiónn12	0,69	1222,3	47
Conexiónn13	0,41	1210,36	43
Conexiónn14	0,49	1249,9	54
Conexiónn16	0,44	1249,92	53,92
Conexiónn17	0,66	1250,49	46
Conexiónn20	2	1241,05	39
Conexiónn21	0,98	1251,54	45
Conexiónn22	1,79	1257,16	29
Conexiónn23	3,26	1261,92	25
Conexiónn24	1,01	1203,43	41,81
Conexiónn25	0,79	1209,37	40
Conexiónn26	0,74	1207,38	45
Conexiónn27	0,67	1207,29	9
Conexiónn28	0	1280,03	42
Conexiónn29	0	1310,06	51,56
Conexiónn31	5,22	1194,36	29,36
Embalse1	-30,86	1340	0

Tabla 89 Información de las tuberías actual.

Línea	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)
Tuberíap1	209,2	80	6,68	1,33
Tuberíap2	56,6	80	8,9	1,77
Tuberíap3	133,3	50	1,85	0,94
Tuberíap4	136,6	100	-15,55	1,98
Tuberíap5	177,6	80	3,98	0,79
Tuberíap7	985,5	80	-3,88	0,77



Línea	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)
Tuberíap8	88,12	80	-3,1	0,62
Tuberíap9	134,6	80	3,02	0,6
Tuberíap10	273,9	80	-4,02	0,8
Tuberíap11	97,8	100	-15,93	2,03
Tuberíap12	194	100	-0,38	0,05
Tuberíap13	71,33	50	-2,86	1,46
Tuberíap14	164,8	50	-3,27	1,66
Tuberíap15	318,5	50	3,58	1,83
Tuberíap17	81,07	50	-0,16	0,08
Tuberíap18	187,3	50	-0,61	0,31
Tuberíap20	345,3	100	17,66	2,25
Tuberíap23	363,4	100	-9,21	1,17
Tuberíap24	433,7	100	-16,6	2,11
Tuberíap25	219	100	11	1,4
Tuberíap26	282,8	80	-1,01	0,2
Tuberíap27	118	80	6,37	1,27
Tuberíap28	108,3	80	5,58	1,11
Tuberíap29	212,7	80	4,17	0,83
Tuberíap30	243,8	80	0,67	0,13
Tuberíap31	112,1	100	-30,86	3,93
Tuberíap34	185,9	100	30,86	3,93
Tubería1	175,09	80	-3,91	0,78
Tubería2	88,01	50	-1,26	0,64
Tubería3	164,6	50	3,06	1,56
Tubería4	557,7	80	-5,22	1,04
Tubería5	991,8	150	-30,86	1,75

Conocida la deficiencia actual de la red, se procede a realizar el rediseño de la red primaria ya que la norma RAS 2000 en el título B¹⁰⁷ se especifica que solo se debe hacer el diseño de la red principal esto ya que estas serán las que llevaran el caudal a redes de menor jerarquía las cuales deberían ser diseñadas por el constructor de los inmuebles, cambiando algunos diámetros, para lograr un funcionamiento óptimo, disminuyendo presiones y garantizando velocidades de flujo óptimas para que el sistema funcione correctamente; de igual manera se recomienda cambiar la totalidad de la tubería antigua, ya que presenta un estado de deterioro considerable según lo informado por el

¹⁰⁷ Ibid., p141.



fontanero del municipio, con el objetivo de corregir las pérdidas existentes en el sistema.

La norma RAS 2000 en el Título B¹⁰⁸ establece que la red de distribución debe tener como presión máxima 60 m.c.a y como presión mínima 15 m.c.a para un nivel de complejidad medio alto, como se muestra en la Tabla 90.

Tabla 90. Presión mínima según nivel de complejidad

Nivel de Complejidad	Presión mínima (kPa)	Presión mínima (metros)
Bajo	98,1	10
Medio	98,1	10
Medio - Alto	147,2	15
Alto	147,2	15

Fuente: RAS 2000 título B

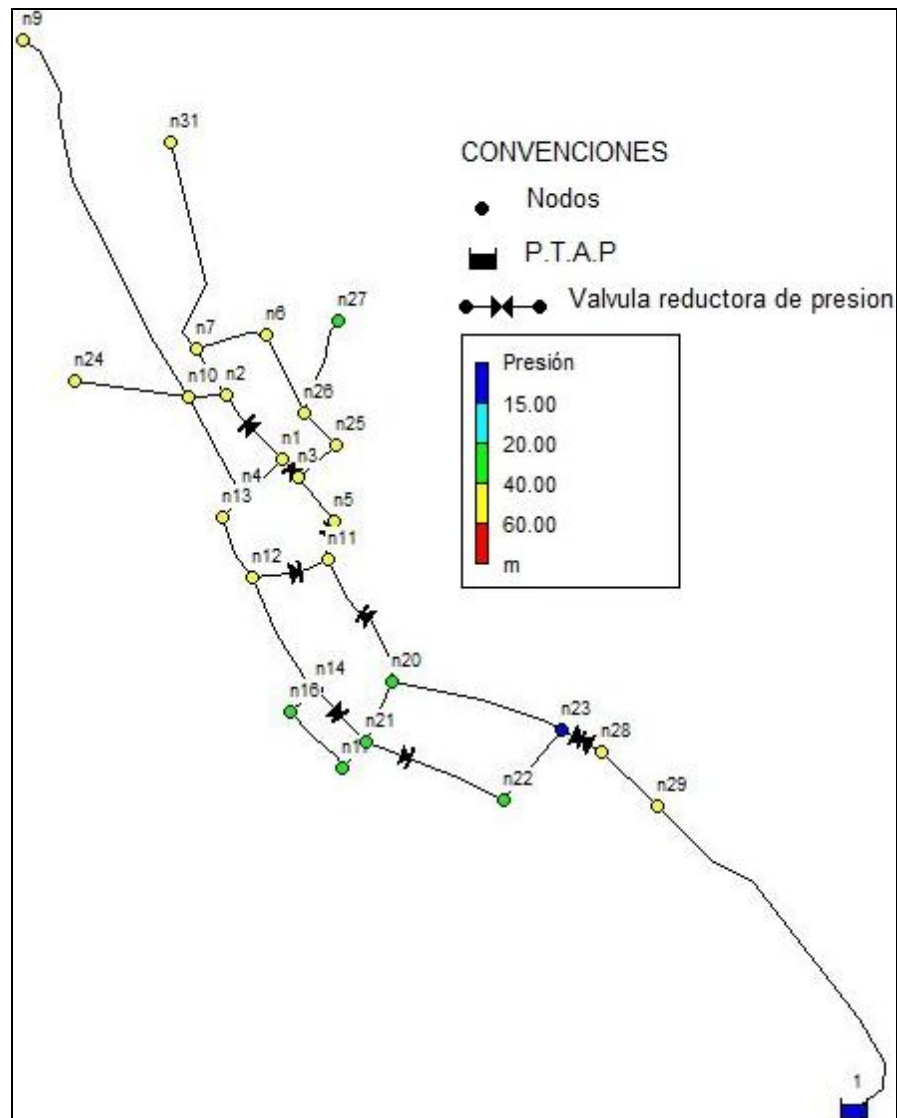
En la RAS 2000 en el Título B¹⁰⁹, también se enuncia que para las tuberías de una red de distribución la velocidad media máxima debe de ser de hasta 4m/s y para las velocidades mínimas no se considera ningún valor estándar, ya que es un factor que varía dependiendo del proyecto a ejecutar. En la Figura 64 se muestra el esquema arrojado por el programa aplicando y cumpliendo con la norma RAS 2000. (Ver Plano 10).

¹⁰⁸ Ibid., p.141.

¹⁰⁹ Ibid., p141.



Figura 64 Red de acueducto año 2013



Luego de haber cambiado los diámetros de las tuberías para el año 2013 con el fin de que la red cumpla con los requisitos previamente enunciados, se establece que el sistema está trabajando en un estado óptimo de funcionamiento, cumpliendo con las normas y se puede proceder al diseño de la red para el año 2028.

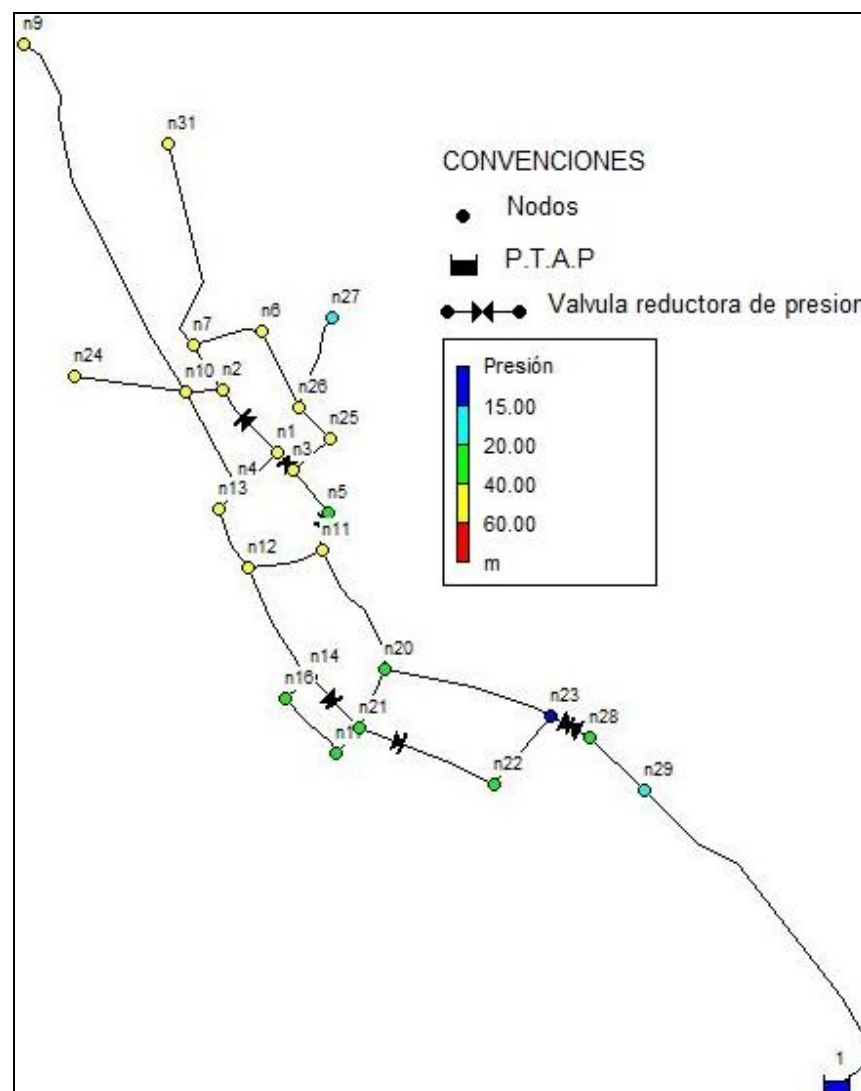
Para el año 2028 la cabecera del municipio sensiblemente no habrá cambiado en cuanto a su tamaño, según se estableció en el capítulo 4, pero sí en el número de habitantes. Es decir, el caudal de demanda aumentará a través del tiempo al igual que la distribución de los caudales en los nodos, lo cual ocasionará algunos cambios en la red previamente diseñada.



Para el cálculo de la red para el año 2028, se parte de la red que se tiene para el año 2013, se le modifican los caudales de cada nodo y se procede a realizar el análisis por medio del programa EPANET. El programa arrojó resultados de presiones negativas, lo que indica que nuevamente se deberá cambiar los diámetros de algunas tuberías, y de nuevo hacer que esta nueva distribución cumpla con las normas. Cuando se cumpla lo anterior, se podrá proceder a realizar el diseño de la red para el año 2038.

En la Figura 65 se observa la red de distribución para el año 2028 cumpliendo con las normas estipuladas. (Ver Plano 11).

Figura 65. Red de acueducto año 2028



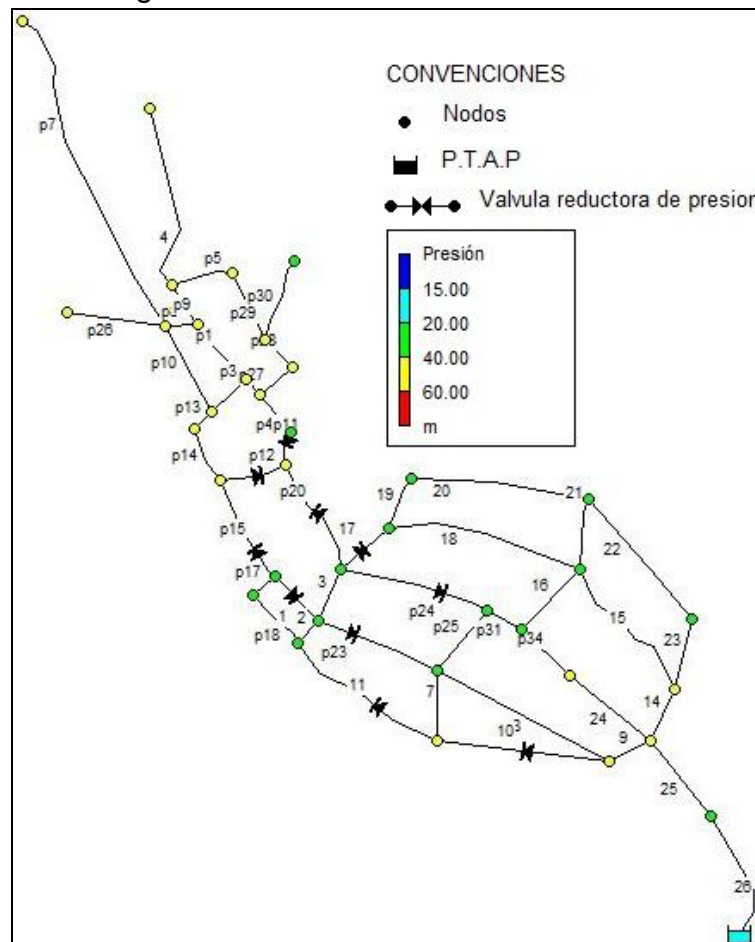


Para el año 2038, el área de la cabecera aumentará su tamaño, lo cual ocasionará un cambio en la parte física de la red con un aumento de nodos y de tuberías.

Se continuó con el mismo procedimiento anterior pero esta vez se le dio el valor de longitud y diámetro a las tuberías nuevas, y a los nuevos nodos, altitud y demanda, para así completar las propiedades que deben tener todos los elementos de la red.

Luego de introducir dichas características, se procedió a realizar el respectivo análisis por medio del programa EPANET, el cual reflejó resultados de presión muy altos inicialmente. Por este motivo, se cambiaron los diámetros de algunas tuberías hasta lograr cumplir con las normas antes mencionadas, y así fijar el diseño final para la tubería de distribución al año 2038, tal como se observa en la Figura 66. (Ver Plano 11).

Figura 66. Red de acueducto año 2038





El resultado obtenido para los diseños de las redes para los años 2013 (reposición para actualización), 2028 y 2038 se presenta en las Tablas 91 a 96, tablas que muestran las presiones y velocidades para cada uno de los nodos en los diferentes periodos de tiempo. Para las tuberías se presentan los valores referidos a las velocidades y diámetros en los mismos periodos de tiempo analizados.

Tabla 91. Información en los nodos para el año 2013.

Nodo	Demanda (L/s)	Altura (msnm)	Presión (mca)
n1	0,35	1222,01	54,13
n2	0,52	1221,29	52,41
n3	0,26	1220,76	50,63
n4	0,64	1222,49	53,52
n5	0,35	1220,76	42,92
n6	1,82	1220,82	53,18
n7	1,66	1220,91	58,78
n9	11,62	1218,22	59,55
n10	2,08	1221,29	52,76
n11	1,25	1241,28	59,81
n12	0,65	1226,27	50,89
n13	0,38	1223,61	56,25
n14	0,46	1231,64	36,2
n16	0,41	1233,05	37,05
n17	0,61	1236,4	32,39
n20	1,86	1241,3	39,12
n21	0,91	1238,04	31,99
n22	1,67	1251,62	23,55
n23	3,04	1251,64	15
n24	0,94	1221,28	59,66
n25	0,74	1220,76	51,8
n26	0,69	1220,77	58
n27	0,62	1220,77	22,07
n28	0	1293,81	55,93
n29	0	1299,52	41,02
n31	4,87	1220,56	55,56
Embalse*	-38,4	1340	0

*El valor negativo de caudal indica que de este nodo (embalse) suministra el caudal a los otros.



Tabla 92 Información en los nodos para el año 2028

Nodo	Demanda (L/s)	Altura (mmsm)	Presión (mca)
n1	0,49	1219,44	51,57
n2	0,73	1218,19	49,32
n3	0,37	1217,37	47,24
n4	0,9	1220,29	51,32
n5	0,5	1217,37	39,52
n6	2,56	1217,47	49,83
n7	0,23	1217,64	55,51
n9	16,71	1212,08	53,41
n10	2,94	1218,18	49,65
n11	1,77	1228,92	47,45
n12	0,91	1227	51,62
n13	0,54	1222,27	54,91
n14	0,65	1228,95	33,51
n16	0,58	1229,48	33,48
n17	0,86	1230,79	26,78
n20	2,63	1232,9	30,73
n21	1,29	1231,47	25,41
n22	2,35	1251,6	23,53
n23	4,28	1251,64	15
n24	1,33	1218,16	56,54
n25	1,04	1217,37	48,4
n26	0,97	1217,38	54,61
n27	0,88	1217,38	18,68
n28	0	1263,72	25,85
n29	0	1274,19	15,69
n31	6,87	1216,99	51,99
Embalse	-52,38	1340	0

Tabla 93 Información en los nodos para el año 2038

Nodo	Demanda (L/s)	Altura (msnm)	Presión (mca)
n1	0,45	1217,29	49,41
n2	0,67	1216,77	47,89
n3	0,34	1217,19	47,06
n4	0,83	1218,4	49,44
n5	0,46	1217,18	39,34
n6	2,34	1216,71	49,08
n7	2,14	1216,67	54,54
n9	16,97	1210,44	51,77
n10	2,68	1216,73	48,2
n11	1,62	1239,77	58,3



Nodo	Demanda (L/s)	Altura (msnm)	Presión (mca)
n12	0,83	1221,56	46,18
n13	0,49	1220,44	53,08
n14	0,59	1231,31	35,87
n16	0,53	1233,86	37,86
n17	0,79	1239,93	35,92
n20	2,4	1239,8	37,62
n21	1,18	1239,87	33,81
n22	2,15	1260,27	32,2
n23	3,92	1263,63	26,99
n24	1,21	1216,71	55,09
n25	0,95	1217	48,03
n26	0,89	1216,87	54,1
n27	0,8	1216,86	18,17
n28	0	1265,87	27,99
n29	0	1268,41	58,41
n31	6,28	1216,12	51,12
n32	1,57	1273,13	58,13
n33	0	1295,11	25,11
n34	1,66	1268,04	45,04
n35	1,51	1266,64	17,34
n36	1,34	1266,56	30,76
n37	2,13	1266,55	25,35
n38	1,55	1266,67	22,97
n39	1,4	1267,19	20,39
n40	2,07	1255,63	50,63
n41	1,05	1260,86	56,59
Embalse	-65,79	1340	0

Tabla 94 Información de las tuberías para el año 2013 (*)

Línea	Nudo inicial	Nudo final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m/km)	Estado
p1	n1	n2	209,2	150	12,23	0,69	3,43	Abierto
p2	n3	n1	56,6	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p3	n1	n4	133,3	150	-12,58	0,71	3,62	Abierto
p4	n3	n5	136,6	150	0,35	0,02	0	Abierto
p5	n6	n7	177,6	150	-4,48	0,25	0,53	Abierto
p7	n9	n10	985,5	150	-11,62	0,66	3,11	Abierto
p8	n10	n2	88,12	150	-0,71	0,04	0,02	Abierto
p9	n2	n7	134,6	150	11,01	0,62	2,81	Abierto
p10	n10	n4	273,9	150	-13,93	0,79	4,38	Abierto
p11	n5	n11	97,8	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p12	n12	n11	194	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto



Línea	Nudo inicial	Nudo final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m/km)	Estado
p13	n4	n13	71,33	150	-27,15	1,54	15,71	Abierto
p14	n13	n12	164,8	150	-27,53	1,56	16,13	Abierto
p15	n14	n12	318,5	150	28,18	1,59	16,87	Abierto
p17	n14	n16	81,07	150	-28,64	1,62	17,41	Abierto
p18	n16	n17	187,3	150	-29,05	1,64	17,9	Abierto
p20	n20	n11	345,3	150	1,26	0,07	0,05	Abierto
p23	n21	n22	363,4	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p24	n20	n23	433,7	150	-33,7	1,91	23,84	Abierto
p25	n23	n22	219	150	1,67	0,09	0,09	Abierto
p26	n24	n10	282,8	150	-0,94	0,05	0,03	Abierto
p27	n3	n25	118	150	-0,62	0,04	0,02	Abierto
p28	n25	n26	108,3	150	-1,35	0,08	0,06	Abierto
p29	n26	n6	212,7	150	-2,66	0,15	0,21	Abierto
p30	n26	n27	243,8	150	0,62	0,04	0,02	Abierto
p31	n23	n28	112,1	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p34	n29	n28	185,9	150	38,4	2,17	30,73	Abierto
p35	n14	n21	175,09	151 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p36	n17	n21	88,01	150	-29,67	1,68	18,63	Abierto
p37	n21	n20	164,6	150	-30,58	1,73	19,76	Abierto
p38	n31	n7	557,7	150	-4,87	0,28	0,62	Abierto
p39	n29	Embalse	991,8	150	-38,4	2,17	30,73	Abierto

*Los valores negativos de caudal indican un sentido anti horario del mismo.

Tabla 95. Información de las tuberías para el año 2028

Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m/km)	Estado
p1	n1	n2	209,2	150	16,4	0,93	5,98	Abierto
p2	n3	n1	56,6	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p3	n1	n4	133,3	150	-16,9	0,96	6,32	Abierto
p4	n3	n5	136,6	150	0,5	0,03	0,01	Abierto
p5	n6	n7	177,6	150	-6,32	0,36	1	Abierto
p7	n9	n10	985,5	150	-16,7	0,95	6,19	Abierto
p8	n10	n2	88,12	150	-2,25	0,13	0,15	Abierto
p9	n2	n7	134,6	150	13,42	0,76	4,09	Abierto
p10	n10	n4	273,9	150	-18,7	1,06	7,69	Abierto
p11	n5	n11	97,8	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p12	n12	n11	194	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto



Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m/km)	Estado
p13	n4	n13	71,33	150	-36,5	2,07	27,86	Abierto
p14	n13	n12	164,8	150	-37,1	2,1	28,66	Abierto
p15	n14	n12	318,5	150	16,6	0,94	6,12	Abierto
p17	n14	n16	81,07	150	-17,3	0,98	6,58	Abierto
p18	n16	n17	187,3	150	-17,8	1,01	7,01	Abierto
p20	n20	n11	345,3	150	23,13	1,31	11,54	Abierto
p23	n21	n22	363,4	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p24	n20	n23	433,7	150	-45,8	2,59	43,2	Abierto
p25	n23	n22	219	150	2,35	0,13	0,17	Abierto
p26	n24	n10	282,8	150	-1,33	0,08	0,06	Abierto
p27	n3	n25	118	150	-0,87	0,05	0,03	Abierto
p28	n25	n26	108,3	150	-1,91	0,11	0,11	Abierto
p29	n26	n6	212,7	150	-3,76	0,21	0,39	Abierto
p30	n26	n27	243,8	150	0,88	0,05	0,03	Abierto
p31	n23	n28	112,1	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p34	n29	n28	185,9	150	52,38	2,96	56,28	Abierto
p35	n14	n21	175,09	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p36	n17	n21	88,01	150	-18,7	1,06	7,67	Abierto
p37	n21	n20	164,6	150	-20	1,13	8,72	Abierto
p38	n31	n7	557,7	150	-6,87	0,39	1,17	Abierto
p39	n29	Embalse	991,8	150	-52,4	2,96	56,27	Abierto

*Los valores negativos de caudal indican un sentido anti horario del mismo.

Tabla 96. Información de las tuberías para el año 2038 (*)

Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m/km)	Estado
p1	n1	n2	209,2	150	10,32	0,58	2,49	Abierto
p2	n3	n1	56,6	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p3	n1	n4	133,3	150	-19,56	1,11	8,36	Abierto
p4	n3	n5	136,6	150	0,46	0,03	0,01	Abierto
p5	n6	n7	177,6	150	3,02	0,17	0,26	Abierto
p7	n9	n10	985,5	150	-16,97	0,96	6,38	Abierto
p8	n10	n2	88,12	150	-4,25	0,24	0,48	Abierto
p9	n2	n7	134,6	150	5,4	0,31	0,75	Abierto
p10	n10	n4	273,9	150	-16,62	0,94	6,13	Abierto
p11	n5	n11	97,8	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p12	n12	n11	194	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p13	n4	n13	71,33	150	-37	2,09	28,59	Abierto
p14	n13	n12	164,8	200	-37,49	1,19	6,78	Abierto
p15	n14	n12	318,5	150 (Válvula)	38,32	2,17	30,6	Abierto



Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m/km)	Estado
p17	n14	n16	81,07	150	-38,92	2,2	31,53	Abierto
p18	n16	n17	187,3	150	-39,45	2,23	32,38	Abierto
p20	n20	n11	345,3	150	1,62	0,09	0,09	Abierto
p23	n21	n22	363,4	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p24	n20	n23	433,7	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p25	n23	n22	219	150	26,83	1,52	15,35	Abierto
p26	n24	n10	282,8	150	-1,21	0,07	0,05	Abierto
p27	n3	n25	118	150	7,99	0,45	1,54	Abierto
p28	n25	n26	108,3	150	7,04	0,4	1,22	Abierto
p29	n26	n6	212,7	150	5,36	0,3	0,74	Abierto
p30	n26	n27	243,8	150	0,8	0,05	0,03	Abierto
p31	n23	n28	112,1	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p34	n29	n28	185,9	150	25,27	1,43	13,67	Abierto
p35	n14	n21	175,09	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p36	n17	n21	88,01	150	5,2	0,29	0,7	Abierto
p37	n21	n20	164,6	150	4,02	0,23	0,44	Abierto
p38	n31	n7	557,7	150	-6,28	0,36	0,99	Abierto
p39	n22	n40	212,2671	150	32,22	1,82	21,86	Abierto
p40	n22	n41	425	150	-7,54	0,43	1,39	Abierto
p41	n41	n32	334	150	-23,89	1,35	12,27	Abierto
p42	n41	n40	435,6	150 (Válvula)	15,29	0,87	5,23	Abierto
p43	n40	n17	368,235	150 (Válvula)	45,44	2,57	42,63	Abierto
p44	n32	n34	684,3	150	15,07	0,85	5,09	Abierto
p45	n34	n35	532,6	150	7,6	0,43	1,41	Abierto
p46	n35	n28	365,7	150	5,48	0,31	0,77	Abierto
p47	n20	n36	487,2	150 (Válvula)	0	0	0	Abierto
p48	n36	n35	610,6	150	-1,55	0,09	0,08	Abierto
p49	n36	n37	1000492,6	150	0,21	0,01	0	Abierto
p50	n37	n38	492,6	150	-1,92	0,11	0,11	Abierto
p51	n38	n35	325,6	150	0,95	0,05	0,03	Abierto
p52	n38	n39	435,5	150	-4,41	0,25	0,52	Abierto
p53	n39	n34	137,9	150	-5,81	0,33	0,86	Abierto
p54	n29	n32	345	150	-25,27	1,43	13,67	Abierto
p55	n32	n33	250	150	-65,79	3,72	87,93	Abierto
p56	n33	Embalse	396,8	150	-65,79	3,72	87,93	Abierto

**Las tuberías sin subrayar corresponden a aquellas que no serán cambiadas en el periodo 2028-2038. Las que se encuentran subrayadas de color azul son aquellas que serán cambiadas por tuberías de diferente diámetro y aquellas que se encuentran resaltadas con color verde corresponden a tuberías nuevas (inexistentes hasta el año 2038).*

**Los valores negativos de caudal indican un sentido anti horario del mismo.*