



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO Y MODELADO HIDRÁULICO DE UN BANCO DE PRUEBAS
UTILIZANDO EL SOFTWARE EPANET PARA REALIZAR PRÁCTICAS
EXPERIMENTALES EN CONDUCTOS FORZADOS

TOLEDO SARANGO JORGE PAUL
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO Y MODELADO HIDRÁULICO DE UN BANCO DE
PRUEBAS UTILIZANDO EL SOFTWARE EPANET PARA
REALIZAR PRÁCTICAS EXPERIMENTALES EN CONDUCTOS
FORZADOS

TOLEDO SARANGO JORGE PAUL
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

DISEÑO Y MODELADO HIDRÁULICO DE UN BANCO DE PRUEBAS UTILIZANDO
EL SOFTWARE EPANET PARA REALIZAR PRÁCTICAS EXPERIMENTALES EN
CONDUCTOS FORZADOS

TOLEDO SARANGO JORGE PAUL
INGENIERO CIVIL

AGUIRRE MORALES FREDY ALEJANDRO

MACHALA, 18 DE FEBRERO DE 2022

MACHALA
18 de febrero de 2022

Trabajo de Titulación corregido

por Jorge Toledo

Fecha de entrega: 08-feb-2022 07:02p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1755020211

Nombre del archivo: Correcci_n_Informe_Toledo_Jorge_2.pdf (1.96M)

Total de palabras: 8836

Total de caracteres: 38791

Trabajo de Titulación corregido

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTE QUE CONTIENE COINCIDENCIAS

1

Submitted to Pontificia Universidad Catolica
del Peru

Trabajo del estudiante

<1%

< 1%

★ Submitted to Pontificia Universidad Catolica del
Peru

Trabajo del estudiante

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, TOLEDO SARANGO JORGE PAUL, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Diseño y Modelado Hidráulico de un banco de pruebas utilizando el software EPANET para realizar prácticas experimentales en conductos forzados, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

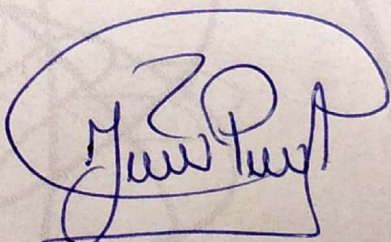
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 18 de febrero de 2022



TOLEDO SARANGO JORGE PAUL
1104650690

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de titulación a mi familia que han sido uno de los ejes principales de motivación para poder culminar con éxito esta etapa universitaria, sobre todo a mi esposa por su apoyo incondicional y a mis hijos que son mi principal inspiración para salir adelante.

A los docentes que a lo largo de la carrera nos impartieron sus conocimientos en las aulas.

A todos los compañeros que tuvimos la oportunidad de compartir clases, forjando lazos de amistad y brindándonos apoyo en las situaciones más complejas.

Toledo Sarango Jorge Paúl

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme salud y la sabiduría necesaria para enfrentar las adversidades de la vida y permitirme culminar con éxito esta etapa de mi vida universitaria.

Agradezco con todos mis tíos paternos que de una u otra forma me inculcaron valores y supieron guiarme por el buen camino de la honradez y humildad.

A mi esposa Aurita Villa, que me ha apoyado incondicionalmente en las decisiones que he tomado y ha sido un pilar fundamental para poder terminar mis estudios.

A mis hijos George, Eliana y Kamila, que son mis principales motores que me inspiran para salir adelante.

A mis primos que hemos compartido grandes momentos en especial a Ítalo Torres, que nos ha tocado pasar duros momentos, pero con apoyo mutuo hemos salido adelante para lograr el objetivo planteado.

A todos los docentes que me impartieron sus conocimientos en las aulas de clase a lo largo de la carrera y a la Universidad Técnica de Machala por haberme permitido ser parte de esta prestigiosa institución y formarnos como profesionales de calidad.

Toledo Sarango Jorge Paúl

RESUMEN

El trabajo realizado tiene la finalidad de ser usado como referencia para la construcción de un modelo físico, para ello se modeló hidráulicamente un banco de pruebas, se implementó un sistema de bombeo y un tablero con 4 ramales de tuberías para verificar el comportamiento hidráulico de las conducciones, lo que permite determinar las pérdidas de carga por fricción y accesorios con ayuda de software EPANET, el propósito es que posteriormente se pueda disponer de un banco de pruebas en el laboratorio, para que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Machala puedan realizar sus prácticas de Hidráulica de Tuberías.

El banco de pruebas se diseñó con cuatro ramales de tuberías de distinto diámetro, en la que circulará agua impulsada con una bomba centrífuga que regresará al depósito donde será bombeada nuevamente formando un circuito cerrado.

Para la medición del caudal se instaló un dispositivo medidor de flujo de agua digital con sensor, se instaló una válvula de regulación al inicio de la tubería para controlar el flujo del agua, la presión se medirá con un manómetro que consta de una cinta métrica acoplada al tablero, además se instaló una válvula de aire en el punto crítico del sistema para permitir la expulsión de burbujas de aire en las tuberías al iniciar la impulsión del flujo.

Se realizaron cálculos analíticos y con ayuda del EPANET se verificó el comportamiento hidráulico en las tuberías, además también se identificó las presiones y caudales en el sistema.

Palabras claves: Modelado hidráulico, Banco de pruebas, Pérdidas de energía, Bomba centrífuga, Válvula de regulación, Manómetro.

ABSTRACT

The work carried out is intended to be used as a reference for the construction of a physical model, for this purpose a test bench was hydraulically modeled, a pumping system and a board with 4 pipe branches were implemented to verify the hydraulic behavior of the pipes, which allows to determine the pressure losses due to friction and accessories with the help of EPANET software, the purpose is that later a test bench can be made available in the laboratory, so that the students of the Civil Engineering career of the Technical University of Machala can carry out their Piping Hydraulics practices.

The test bench was designed with four branches of pipes of different diameters, in which water will circulate driven by a centrifugal pump and will return to the tank where it will be pumped again forming a closed circuit.

To measure the flow, a digital water flow measuring device with a sensor was installed, a regulation valve was installed at the beginning of the pipe to control the water flow, the pressure will be measured with a pressure nanometer consisting of a tape measure attached to the board, an air valve was also installed at the critical point of the system to allow the expulsion of air bubbles in the pipes when the flow starts.

Analytical calculations were made and with the help of EPANET the hydraulic behavior in the pipes was verified, in addition the pressures and flows in the system were also identified.

Keywords: Hydraulic modeling, Test stand, Energy losses, Centrifugal pump, Regulating valve, Pressure gauge.

ÍNDICE

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
ÍNDICE	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	10
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Planteamiento del problema.....	12
1.2 Objetivos del proyecto	12
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	12
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	12
2. DESARROLLO	13
2.1 Presión	13
2.2 Método de Darcy Weisbach	13
2.3 Pérdidas de carga por fricción en tuberías	13
2.4 Velocidad media.....	13
2.5 Factor de fricción.....	14
2.6 Rugosidad absoluta.....	14
2.7 Número de Reynolds	14
2.8 Viscosidad Cinemática.....	15
2.9 Pérdidas de carga por accesorios en sistemas de tuberías	15
2.10 Coeficiente de pérdidas en accesorios	15
2.11 Presión Manométrica.....	15
2.12 Equipos y materiales usados en el banco de pruebas	16
2.12.1 <i>Bomba centrífuga</i>	16
2.12.2 <i>Tuberías</i>	16
2.12.3 <i>Accesorios</i>	16

2.13	Diseño del banco de pruebas	16
2.14	Procedimiento de cálculo	17
2.14.1	<i>Estimación de la bomba centrífuga</i>	17
2.14.2	<i>Determinación del caudal de bombeo.</i>	18
2.14.3	<i>Determinación de las pérdidas de carga</i>	18
2.14.4	<i>Simulación en EPANET</i>	20
3.	CONCLUSIONES	20
4.	BIBLIOGRAFÍA	21
5.	ANEXOS	23
5.1	Anexo A. Bomba centrífuga	23
5.2	Anexo B. Tuberías	23
5.3	Anexo C. Accesorios	24
5.4	Anexo D. Coeficiente de pérdida K.....	26
5.5	Anexo E. Criterios de diseño	27
5.6	Anexo F. Bomba centrífuga.....	28
5.7	Anexo G. Banco de Pruebas	29
5.8	Anexo H. Ramal 1	30
5.9	Anexo I. Ramal 2.....	31
5.10	Anexo J. Ramal 3	32
5.11	Anexo K. Ramal 4.....	33
5.12	Anexo L. Cálculos del Ramal 1	34
5.13	Anexo M. Cálculos de Ramal 2	35
5.14	Anexo N. Cálculos del Ramal 3.....	36
5.15	Anexo O. Cálculos del Ramal 4.....	37
5.16	Anexo P. Simulación en EPANET (Ramal 1)	38
5.17	Anexo Q. Simulación en EPANET (Ramal 2)	39
5.18	Anexo R. Simulación en EPANET (Ramal 3)	40
5.19	Anexo S. Simulación en EPANET (Ramal 4)	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente de pérdidas en accesorios	16
Tabla 2. Coeficiente de rugosidad absoluta ϵ , para tuberías comerciales	27
Tabla 3. Viscosidad cinemática	27
Tabla 4. Caudales y alturas de bombeo.....	28

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Bomba centrífuga.....	16
Ilustración 2. Tubería PVC.....	17
Ilustración 3. Tubería de hierro galvanizado.....	17
Ilustración 4. Manguera PVC transparente	17
Ilustración 5. Accesorios plegables y roscables.....	18
Ilustración 6. Válvulas	18
Ilustración 7. Válvulas adicionales	18
Ilustración 8. Caudalímetro digital.....	18
Ilustración 9. Interruptor botonera ON/OFF	19
Ilustración 10. Plancha de acrílico	19

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realizó el diseño de un banco de pruebas que consta de un sistema de bombeo y un tablero con 4 ramales de tuberías de distinto diámetro con sus respectivos accesorios. La finalidad es comprobar el comportamiento hidráulico de un fluido como el agua que se traslada por el interior de las tuberías, permitiendo determinar pérdidas de carga en tuberías y accesorios.

Las características principales del banco de pruebas son, que se puede instalar fácilmente, su funcionamiento es sencillo, además cuenta con 2 tipos de tuberías con diferente diámetro (1 pulgada y $\frac{1}{2}$ pulgada) que permite determinar las pérdidas por fricción según su diámetro y material.

Debido a que el laboratorio de Hidráulica de la carrera de Ingeniería Civil de la UTMACH no cuenta con un sistema que permita realizar prácticas experimentales sobre el flujo en conductos forzados, origina a crear el diseño del presente banco de pruebas que será de mucha utilidad para que los futuros estudiantes puedan realizar sus ensayos.

El proyecto se realiza por el interés de identificar la cantidad de pérdida de energía que produce un tramo de tubería y sus accesorios. Las pérdidas de carga en una sección circular que conduce un flujo son pérdidas de energía debido a que se fricciona el fluido entre sí y con las paredes de una tubería. “Las pérdidas en accesorios son elementos que contribuyen a la pérdida de presión global del sistema, estas pérdidas se denominan pérdidas menores” [1].

En el ámbito profesional como futuros Ingenieros Civiles, el interés de conocer el comportamiento de un fluido en los diferentes tipos de tuberías, nos permite proyectar en obras de gran magnitud e interpretar el funcionamiento adecuado.

El procedimiento de cálculo se realiza basado en las fórmulas de Darcy Weisbach. “Darcy Weisbach, es un método utilizado en el cálculo de pérdida de carga; su naturaleza semi empírica hace que pueda ser aplicado para diferentes tipos de flujo, fluidos y tuberías” [2].

El trabajo realizado describe paso a paso el funcionamiento e instalación del banco de pruebas, y como hacer las lecturas respectivas en los manómetros de las caídas de presión. Además, se presenta la respectiva fundamentación teórica basada en investigación bibliográfica. Finalmente se exponen las conclusiones de la práctica experimental respaldado con la simulación del software EPANET.

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Machala no cuentan con un laboratorio que les permita realizar prácticas experimentales sobre el flujo en conductos forzados, por tal motivo se cree necesario elaborar un banco de pruebas para ensayos de pérdidas de carga por fricción en tuberías y por accesorios, para que los estudiantes realicen sus prácticas y no se generen vacíos durante el aprendizaje y formación de los futuros profesionales.

1.2 Objetivos del proyecto

1.2.1 Objetivo General

Realizar el diseño y modelado hidráulico de un banco de pruebas, implementando un sistema de bombeo y un tablero con 4 ramales de tuberías, para verificar el comportamiento hidráulico utilizando el software EPANET permitiendo medir las pérdidas que se producen.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Investigar catálogos de bombas para determinar la potencia de bombeo que se necesita para garantizar que el agua sea bombeada hacia todos los ramales de tuberías planteados.
- Plantear las fórmulas de Darcy Weisbach para encontrar el caudal y pérdidas en los diferentes ramales.
- Determinar las pérdidas de carga por fricción y accesorios en los ramales diseñados con ayuda de una hoja electrónica Excel.
- Modelar hidráulicamente para verificar el comportamiento hidráulico con el software EPANET

2. DESARROLLO

2.1 Presión

“Es la fuerza por unidad de área a la que está sometida una partícula de un fluido. La presión en una partícula de un fluido es igual en todas las direcciones” [3]. La variación de presión entre el primer punto y el segundo punto de la tubería es lo que ocasiona el fluido en movimiento.

2.2 Método de Darcy Weisbach

“Método utilizado en el cálculo de pérdidas de carga; su naturaleza semi empírica hace que pueda ser aplicado para diferentes tipos de flujo, fluidos y tuberías” [2].

2.3 Pérdidas de carga por fricción en tuberías

Son las pérdidas de superficie, que se originan en el momento que entra en contacto el fluido con la tubería y ocasionan rozamiento de las partículas entre sí.

$$[4] \quad h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (1)$$

Donde:

h_L = Pérdida de carga por fricción en tuberías (m)

f = Factor de fricción (adimensional)

L = Longitud del tramo de la tubería (m)

D = Diámetro de la tubería (m)

V = Velocidad media del flujo en la tubería(m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

2.4 Velocidad media

Es la velocidad que circula un fluido a través de una tubería, sus unidades vienen expresadas en m/s.

$$[5] \quad V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \quad (2)$$

Según [6], la velocidad máxima para un conducto a presión es de 4.5 m/s para material plástico (PVC) y 4 a 5 m/s para hierro (HG).

2.5 Factor de fricción

El valor del factor de fricción carece de unidades, y está en función del diámetro y velocidad de una sección tubular, además de la densidad, viscosidad cinemática y rugosidad de la tubería. Se lo puede determinar usando la siguiente ecuación:

$$[7] \quad f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (3)$$

Donde:

f = Factor de fricción

ε = Rugosidad absoluta

D = Diámetro de la tubería

Re = Número de Reynolds

2.6 Rugosidad absoluta

Según Claudio Mataix, en el libro de Mecánica de Fluidos nos indica la rugosidad absoluta (ε) para tuberías de PVC es 0.0015 mm. Para tubería de hierro galvanizado está entre 0.15 a 0.20 mm [5].

Se puede identificar también la rugosidad absoluta para diferentes tipos de tuberías comerciales (Ver Anexo E, Tabla 2)

2.7 Número de Reynolds

Es un valor adimensional que se usa para interpretar el movimiento del fluido, dependiendo del valor obtenido nos muestra si el flujo del líquido es laminar o turbulento. Su fórmula se la expresa de la siguiente manera:

$$[7] \quad Re = \frac{VD}{\nu} \quad (4)$$

Donde:

Re = Número de Reynolds (adimensional)

V = Velocidad media del flujo en la tubería(m/s)

D = Diámetro de la tubería (m)

ν = Viscosidad cinemática (m²/s)

“Si el Número de Reynolds es menor a 2000 el flujo será laminar y si es mayor a 4000 será turbulento” [8].

2.8 Viscosidad Cinemática

La viscosidad cinemática es considerada como la división de la viscosidad absoluta para la densidad. Según el sistema internacional de unidades el m^2/s es la unidad que le corresponde a la viscosidad cinemática [3].

$$[3] \quad \nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (5)$$

Donde:

ν = Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s)

μ = Viscosidad dinámica o absoluta del fluido ($Kg. s/m^2$)

ρ = Densidad del fluido ($kg. s/m^4$)

La viscosidad cinemática para temperatura de $20^\circ C$ es de $1.00488 \times 10^{-6} m^2/s$. La viscosidad cinemática varía de acuerdo a la temperatura (Ver Anexo E, Tabla 3).

2.9 Pérdidas de carga por accesorios en sistemas de tuberías

“Cuando en las tuberías existen codos, válvulas, etc., usualmente es necesario tener en cuenta las pérdidas de altura a través de estos accesorios, además de las pérdidas causadas por la fricción en las tuberías” [9].

$$[4] \quad h_m = K_m \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

Donde:

h_m = Pérdida de carga por accesorio (m)

K_m = Coeficiente de pérdida en accesorios (adimensional)

2.10 Coeficiente de pérdidas en accesorios

El coeficiente de pérdidas se puede determinar experimentalmente a través de bancos hidráulicos de pruebas [10]. Para el presente diseño se usó datos obtenidos en campo y de diferentes autores. (Ver Anexo D, Tabla 1)

2.11 Presión Manométrica

“Es la determinada por cualquier instrumento que mide la diferencia entre cualquier presión absoluta por encima de la atmosférica” [3]

2.12 Equipos y materiales usados en el banco de pruebas

2.12.1 Bomba centrífuga

Es una máquina que se usa para desplazar fluidos por el interior de las tuberías mediante la transformación de la energía. La bomba usada en el banco de pruebas es de 1/2 HP marca Pedrollo, modelo PK 60-MD y 0.37 KW. (Ver Anexo A, Ilustración 1)

2.12.2 Tuberías

Las tuberías usadas son de PVC roscable y hierro galvanizado. (Ver Anexo B, Ilustración 2, Ilustración 3, Ilustración 4)

2.12.3 Accesorios

Se usó codos de 45° y 90°, tee con reducción y pega/rosca, universal, válvulas roscables/plegables, un caudalímetro, una válvula de aire y un manómetro artesanal. (Ver Anexo C, Ilustración 5, Ilustración 6, Ilustración 7, Ilustración 8, Ilustración 9, Ilustración 10)

2.13 Diseño del banco de pruebas

En el banco hidráulico se diseñaron 4 ramales con tuberías de PVC y hierro galvanizado con diferentes accesorios como válvulas, codos, unión universal, tees, y una bomba centrífuga. (Ver Anexo G)

El tablero se diseñó con madera MDF (fibras de densidad media), sus dimensiones son de 2.4 m de base por 1.13 m de altura con espesor de 12 mm, sujeto sobre dos patas de hierro.

Se instaló una bomba centrífuga de ½ HP a 0.41 m sobre el nivel del piso, el encendido se lo hace con un interruptor de botones ON/OFF industrial de metal con potencia máxima de 7.5 KW (Ver Ilustración 9).

El primer ramal está compuesto de tubería PVC de 1 pulgada y por accesorios colocados en serie a lo largo del tramo de la tubería.

En el segundo ramal se instaló tubería de ½ pulgada PVC en cual constan 2 válvulas de bola y 1 universal todas de PVC.

El ramal tres consta de una tubería de hierro galvanizado de ½ pulgada con dos válvulas de bola PVC y 1 universal PVC.

El cuarto ramal está constituido por tubería de PVC de 1 pulgada, 4 válvulas (3 de PVC y 1 metálica), 2 codos de 45 ° y 1 unión universal.

Para controlar el caudal de ingreso se colocó un medidor industrial (caudalímetro) digital de 1 pulgada de diámetro, material PVDF (fluoro polímero termoplástico), precisión de +- 5% y una válvula de regulación. (Ver Ilustración 8)

Se instaló una válvula de presión en el punto más crítico del sistema (N32) para permitir la salida de burbujas de aire al momento que el fluido circule por las tuberías.

Se diseñó un reservorio con material de acrílico transparente de 8 milímetros de espesor (ver Ilustración 10). Las dimensiones del reservorio son de 0.45 x 0.20 metros de base y 0.40 metros en altura. Será llenado a $\frac{3}{4}$ de su capacidad ósea 0.03 m³ (30 Litros). (Ver Anexo G).

Para medir la presión en los tramos de tubería y accesorios se usará manguera PVC transparente de 9.82 milímetros de diámetro interno y 10.72 de diámetro exterior, que será enchufada en la mini válvula adheridas en las tuberías y el otro extremo será sujetado en el tablero junto a una cinta métrica (manómetro). La mini válvula será con entrada de rosca de 12.7 milímetros y salida de 9.82 milímetros de diámetro exterior.

2.14 Procedimiento de cálculo

2.14.1 Estimación de la bomba centrífuga

Para el banco de pruebas diseñado, según el sistema de tuberías, indica que su punto más crítico para elevar agua es de 1.60 m, a esto se le suma una presión aproximada de 0.70 m y se estima pérdidas por fricción y accesorios de 0.90 m. Por lo cual se consideró necesario buscar una bomba que por lo menos eleve 3.20 m de altura.

Según los catálogos de bombas proporcionados por la empresa Pedrollo, se seleccionó una bomba que cumple con la altura de bombeo requerida que es de 1/2 HP de potencia, modelo PKm 60-MD, su altura mínima de bombeo es de 3 m para un caudal máximo de 0.92 L/s.

El catálogo nos facilitó los datos necesarios para la estimación de la curva de la bomba y con ayuda de la hoja electrónica Excel podemos graficar la curva y obtener la ecuación de la bomba.

La ecuación de la bomba que se generó es la siguiente:

$$HB = -839615Q^2 - 20311 * Q + 22.36 \quad (7)$$

Donde:

HB = Altura de bombeo (m)

Q = Caudal que eleva la bomba (m³/s)

Los datos de caudales y alturas proporcionadas por el catálogo de bombas, así como la gráfica de la curva se las puede apreciar en (Ver Anexo F. Tabla 4, Ilustración 11)

2.14.2 Determinación del caudal de bombeo.

Una vez obtenida la ecuación de la bomba, se procede a igualarla con la ecuación del sistema diseñado para así obtener el caudal máximo necesario que se necesita bombear para que llegue al punto más crítico del banco de pruebas.

$$HS = Z_2 - Z_1 + h_L + h_m \quad (3)$$

Donde

HS = Ecuación del sistema

Z_1 = Cota más baja donde inicia el bombeo (m)

Z_2 = Cota del punto crítico más alto que se desea llegar (m)

Con ayuda del software para cálculos matemáticos *Mathcad*, resolvemos la ecuación planteada obteniendo el valor del caudal.

$$\begin{array}{llll} L := 3.49 \text{ m} & Z_1 := 0.41 \text{ m} & g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} & v := 0.000001 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ D := 0.02430 \text{ m} & Z_2 := 1.68 \text{ m} & K := 7.8 & \varepsilon := 0.0000015 \text{ m} \end{array}$$

$$Q := 0.3$$

$$-839615 \cdot Q^2 - 20311 \cdot Q + 22.36 = Z_2 - Z_1 + 1.07 \cdot \frac{Q^2 \cdot L}{g \cdot D^5} \cdot \left(\ln \left(\frac{\varepsilon}{3.7 \cdot D} + 4.62 \cdot \left(\frac{v \cdot D}{Q} \right)^{0.9} \right) \right)^{-2} + \frac{8 \cdot K \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4}$$

$$Q := \text{find}(Q) = 0.0009 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_d := Q \cdot 1000 = 0.9018 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

2.14.3 Determinación de las pérdidas de carga.

Posteriormente se obtienen los datos necesarios del sistema del primer ramal, del tramo entre el nudo N33 y N34 (Ver Anexo D). Y los datos de rugosidad absoluta para PVC (Numeral 4.6), la viscosidad cinemática (Numeral 4.8) y la aceleración de la gravedad (Numeral 4.3)

Datos:

$L = 1 \text{ m}$

$D = 0.0243 \text{ m}$

$Q = 0.7746 \text{ L/s} = 0.0007746 \text{ m}^3/\text{s}$ (Es necesario aclarar que el caudal de bombeo es de $0.0009 \text{ m}^3/\text{s}$, pero se disminuye el caudal por tanteo para que la lectura de las presiones en el tablero sea accesible para el estudiante)

$$\varepsilon = 0.0015 \text{ mm} = 0.0000015 \text{ m}$$

$$\nu = 1.00488 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Se aplico la ecuación (2)

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$V = \frac{4 * (0.0007746 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi * (0.0243 \text{ m})^2}$$

$$V = 1.67 \text{ m/s}$$

Reemplazando datos en (4)

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

$$Re = \frac{1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.0243 \text{ m}}{1.00488 \times 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$Re = 40586.48 \text{ (adimensional)}$$

Aplicando (3)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{0.0000015 \text{ m}}{3.7(0.0243 \text{ m})} + \frac{5.74}{40586.48^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.022 \text{ (adimensional)}$$

Reemplazando en (1)

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

$$h_L = 0.022 * \frac{1 \text{ m}}{0.0243 \text{ m}} * \frac{(1.67 \text{ m/s})^2}{2 * (9.81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_L = 0.13 \text{ m}$$

En el presente tramo no existen accesorio por tal razón no es necesario aplicar la ecuación (6), que en otras condiciones se le sumaría a (1). Por tanto, la pérdida de carga en el tramo N33 y N34 es 0.13 m para Ø 1" PVC. Se realizaron los cálculos necesarios para cada uno de los tramos en los 4 ramales propuestos, para facilitar el

trabajo se programó en hojas de cálculo de Excel. También se aprecia los valores de las presiones en cada nudo, que serán los valores que se obtendrán al realizar los ensayos experimentalmente. (Ver Anexo L, Anexo M, Anexo N, Anexo O).

2.14.4 Simulación en EPANET

Se ingresó la información del diseño en el software EPANET para realizar la simulación del banco de pruebas, se ingresaron datos de la curva de la bomba proporcionados por el catálogo citado, se instaló una válvula de regulación a la salida del caudal bombeado para controlar el flujo de agua que ingresa en los ramales, se colocaron válvulas de control al ingreso de cada ramal para que el flujo sea dirigido solo para los tramos a ser analizados. El software nos facilita controlar las presiones en cada punto aumentando o disminuyendo el caudal o sección de la tubería. Los resultados obtenidos son satisfactorios y se asemejan a los obtenidos analíticamente (Ver Anexo P, Anexo Q, Anexo R, Anexo S).

3. CONCLUSIONES

- Las tuberías del sistema del banco de pruebas para su construcción en físico se las puede considerar de manguera transparente PVC para observar el comportamiento del fluido y posibles acumulaciones de burbujas de aire.
- En base a la información proporcionada por los catálogos de bombas se pudo determinar la ecuación de la bomba e igualar con la ecuación del sistema diseñado y se obtendrá el caudal de bombeo necesario para dicho sistema, en el presente sistema el caudal es $0.0009 \text{ m}^3/\text{s}$ (0.9018 L/s).
- Según los cálculos realizados analíticamente del banco de pruebas, se obtuvo presiones alrededor de 1 a 1.8 m en los puntos analizados, lo cual facilita la apreciación en el manómetro por estar a una altura accesible de un estudiante.
- La pérdida de energía por fricción en la tubería de hierro galvanizado es mucho mayor que en una tubería de PVC, esto debido a la rugosidad de la tubería, para un tramo de 1 metro con diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada se obtuvo valores de $HG = 1.68 \text{ m}$ y $PVC = 1.08 \text{ m}$
- El diseño modelado en EPANET da la facilidad de variar las presiones con ayuda de una válvula reguladora de caudal al momento de estrangular o abrir periódicamente.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. E. Ávila Jiménez, C. Becerra Lotero, Y. Mustafá Iza y J. R. Sanz Uribe, «Pérdidas de presión en el transporte hidráulico de café por tubería PVC de 88 mm,» *Scientia Et Technica*, vol. XIII, nº 34, pp. 177-182, mayo 2007.
- [2] L. E. Ortiz Vidal, D. E. Cabanillas Maury y R. A. Fierro Chipana, «EQUILIBRIO HIDRÁULICO EN SISTEMAS DE BOMBEO MINERO: ESTUDIO DE CASO,» *Ingeniare, Revista Chilena de Ingeniería*, vol. 18, nº 3, pp. 335-342, diciembre-enero 2010.
- [3] J. G. Yambombo Guanutaxi, Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para ensayos de pérdida de carga en tuberías y accesorios (Trabajo de grado Ingeniería Civil), Quito: Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, 2012.
- [4] M. B. Cardoso y M. V. Ángeles, «Comparación de métodos para estimar pérdidas localizadas en riego por goteo,» *Tecnologías y Ciencias del Agua*, vol. VIII, nº 4, pp. 117-125, 2017.
- [5] C. Mataix, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, Madrid: Ediciones del Castillo. S. A. Madrid, 1986.
- [6] I. E. d. Normalización, «Norma para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones mayores a 1000 habitantes,» *INEN*, vol. Edición I, nº 9-1, p. 291, 1992.
- [7] O. T. (. s. Vegas Niño y F. (. o. H. Martínez Alzamora, «Equivalencia de Coeficientes de Rugosidad de Hazem-Williams, Chezy-Manning y Darcy-Weisbach para Modelos de Redes a Presión en Epanet,» *Research Institute of Water and Environmental Engineering (IIAMA)*, vol. I, nº 35, pp. 1-20, 2018.
- [8] J. Castillo Calderon, B. Solórzano Castillo y J. Moreno Moreno, «Diseño de una Red Neuronal para la predicción del coeficiente de pérdidas primarias en régimen de flujo turbulento,» *INGENIUS*, nº 19, pp. 21-27, 2018.
- [9] I. H. Shames, Mecánica de Fluidos, Tercera ed., Bogotá: Martha Edna Suárez R., 1995.
- [10] N. Silverio y H. Benavides Muñoz, «Determinación de Pérdidas de carga en accesorios (K) de Sistemas Domiciliarios,» *ECUADORIAN SCIENCE JOURNAL*, vol. 4, nº 2, pp. 7-11, 2020.
- [11] E. Turmo Sierra, «Fugas en Recipientes y Conducciones: Emisión en Fase Líquida,» *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo*, nº 362, pp. 1-10, 1993.
- [12] J. S. De Plaza Solórzano, «Ejercicios Prácticos en EPANET,» ISBN, Bogotá, 2017.
- [13] S. Jimenez, «Pérdidas de Carga Localizadas en Accesorios,» CONAGUA, Bogotá,

2017.

- [14] S. Daza Salinas, Estudio de la Caída de Presión a través de una válvula de bola, Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2018.
- [15] C. e. L. Placas de Acrílico Transparente, «Comercializadora de Productos Digitales,» Acrílico Colado. [En línea]. Available: <https://coprodi.com.ar/placas/acrilico-transparente/>. [Último acceso: 21 enero 2022].
- [16] E. c. R. Periférico, «PEDROLLO the spring of life,» Catálogo. [En línea]. Available: <https://www.pedrollo.com/es/pk-electrobombas-con-rodete-periferico/125>. [Último acceso: 10 enero 2022].
- [17] P. WAVIN, «PLASTIGAMA,» [En línea]. Available: <https://www.wavin.com/es-ec>. [Último acceso: 15 enero 2022].
- [18] C. Grupo Vemacero, «VEMACERO.Tubería de Acero al carbono,» ASTM A53. [En línea]. Available: www.vemacero.com. [Último acceso: 12 enero 2022].
- [19] E. Ferretero, «EL FERRETERO, Manguera Industrial,» Clave MAN-2/161 código 19864. [En línea]. Available: <https://www.elferretero.com.ec/>. [Último acceso: 20 enero 2022].
- [20] G. L. H. CD, «Tubos y Conexiones TIGRE,» Catálogo para Sistemas de Bombeo, Pedrial y Electricidad. [En línea]. Available: <https://grupoloshidroscd.ec/>. [Último acceso: 20 enero 2022].
- [21] I. Botonera ON/OFF Industrial, «Modelo 4M906G3,» *Material :Metal*, vol. Potencia: 7.5 KW, nº Amperaje 30 Amp, p. Peso: 1kg, Color: Gris.
- [22] M. Catálogo de Medidores Industriales, «GPI,» [En línea]. Available: www.medidoresgpi.com. [Último acceso: 25 enero 2022].

5. ANEXOS

5.1 Anexo A. Bomba centrífuga

Ilustración 1. Bomba centrífuga



Fuente: Catálogo Pedrollo [16]

5.2 Anexo B. Tuberías

Ilustración 2. Tubería PVC



Fuente: Catálogo [17]

Ilustración 3. Tubería de hierro galvanizado



Fuente: Catálogo [18]

Ilustración 4. Manguera PVC transparente



Fuente: Catálogo [19]

5.3 Anexo C. Accesorios

Ilustración 5. Accesorios plegables y roscables



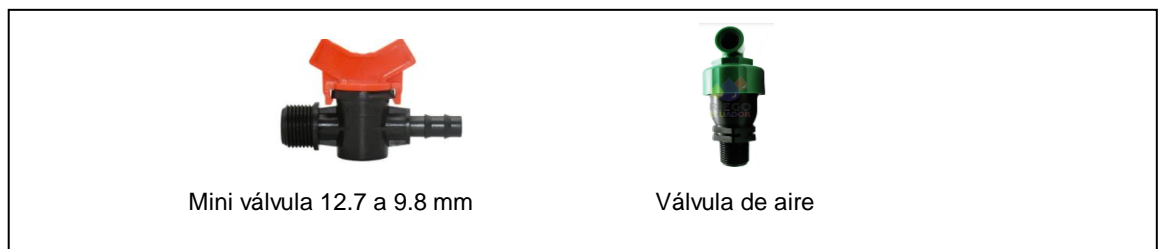
Fuente: Catálogo [20]

Ilustración 6. Válvulas



Fuente: Catálogo [17]

Ilustración 7. Válvulas adicionales



Fuente: Catálogo [17]

Ilustración 8. Caudalímetro digital



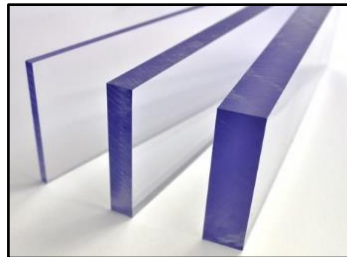
Fuente: Catálogo [22]

Ilustración 9. Interruptor botonera ON/OFF



Fuente: Catálogo [21]

Ilustración 10. Plancha de acrílico



Fuente: Catálogo [15]

5.4 Anexo D. Coeficiente de pérdida K

Tabla 1. Coeficiente de pérdidas en accesorios

Accesorios	Factor de Resistencia (K)		Referencia
	(1")	(1/2")	
Universal	0.60	1.08	[10]
Codo 90°	0.50	0.75	[11]
Codo 45°	0.42	0.42	[12]
Tee	0.30	0.30	[12]
Válvula globo abierta PVC	10	-	[13]
Válvula bola PVC	0.20	0.50	[14]
Válvula de compuerta abierta PVC	0.20	0.20	[12]
Válvula cheque abierta PVC	2.5	-	[12]
Válvula metálica de bola	4.25	3.89	[14]
Caudalímetro	2.5	-	[13]

Fuente: Referencia

5.5 Anexo E. Criterios de diseño

Tabla 2. Coeficiente de rugosidad absoluta ϵ , para tuberías comerciales

Tipo de tubería	Rugosidad Absoluta ϵ (mm)	Tipo de tubería	Rugosidad Absoluta ϵ (mm)
Vidrio, cobre o latón estirado, PVC.	0.0015	Hierro galvanizado.	0.15 a 0.20
Latón industrial.	0.025	Fundición corriente nueva.	0.25
Acero laminado nuevo.	0.05	Fundición corriente oxidada.	1 a 1.5
Acero laminado oxidado.	0.15 a 0.25	Fundición asfaltada.	0.1
Acero laminado con incrustaciones.	1.5 a 3	Cemento alisado.	0.3 a 0.8
Acero asfaltado.	0.015	Cemento bruto.	Hasta 3
Acero roblonado	0.03 a 0.1	Acero roblonado.	0.9 a 9
Acero soldado, oxidado.	0.4	Duelas de madera.	0.183 a 0.91

Fuente: [5]

Tabla 3. Viscosidad Cinemática

T (°C)	ν (m ² /s) *10 ⁻⁰⁶	T (°C)	ν (m ² /s) *10 ⁻⁰⁶
0	1.77100	20	1.00488
2	1.65780	22	0.95814
4	1.55578	24	0.91473
6	1.46345	26	0.87431
8	1.37956	28	0.83661
10	1.30307	30	0.80139
12	1.23309	32	0.76843
14	1.16889	34	0.73752
15	1.13874	36	0.70851
16	1.10980	38	0.68123
18	1.05529	40	0.65554

Fuente: [3]

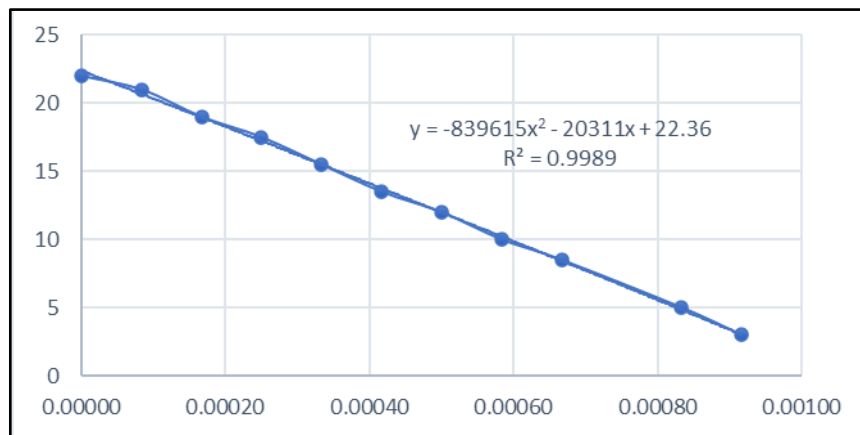
5.6 Anexo F. Bomba centrífuga

Tabla 4. Caudales y alturas de bombeo

Curva de la Bomba		
Q (lit/seg)	Q (m ³ /s)	Hb (m)
0.00	0.00000	22
0.08	0.00008	21.0
0.17	0.00017	19.0
0.25	0.00025	17.5
0.33	0.00033	15.5
0.42	0.00042	13.5
0.50	0.00050	12.0
0.58	0.00058	10.0
0.67	0.00067	8.5
0.83	0.00083	5.0
0.92	0.00092	3.0

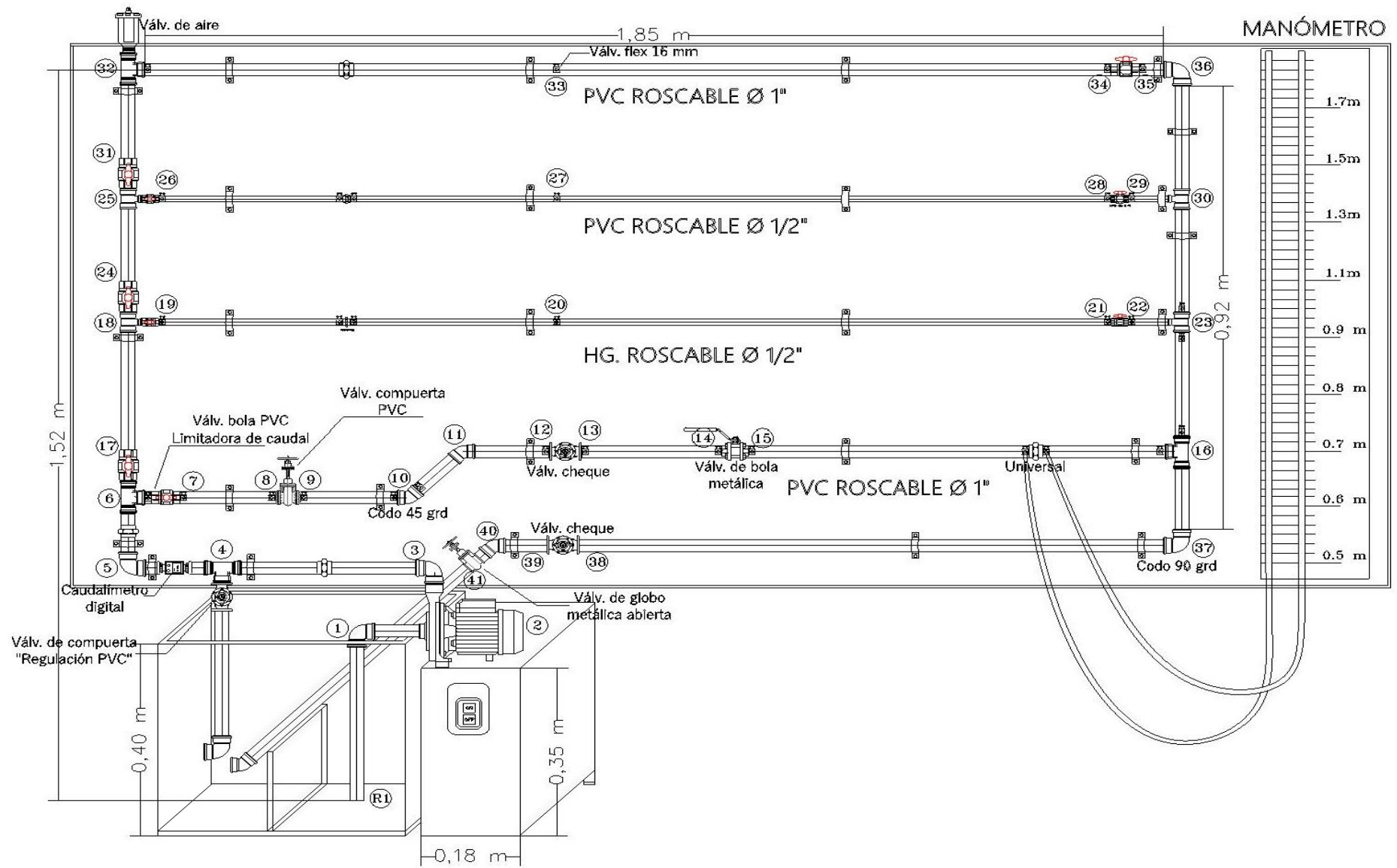
Fuente [16]

Ilustración 11. Curva y ecuación de la bomba

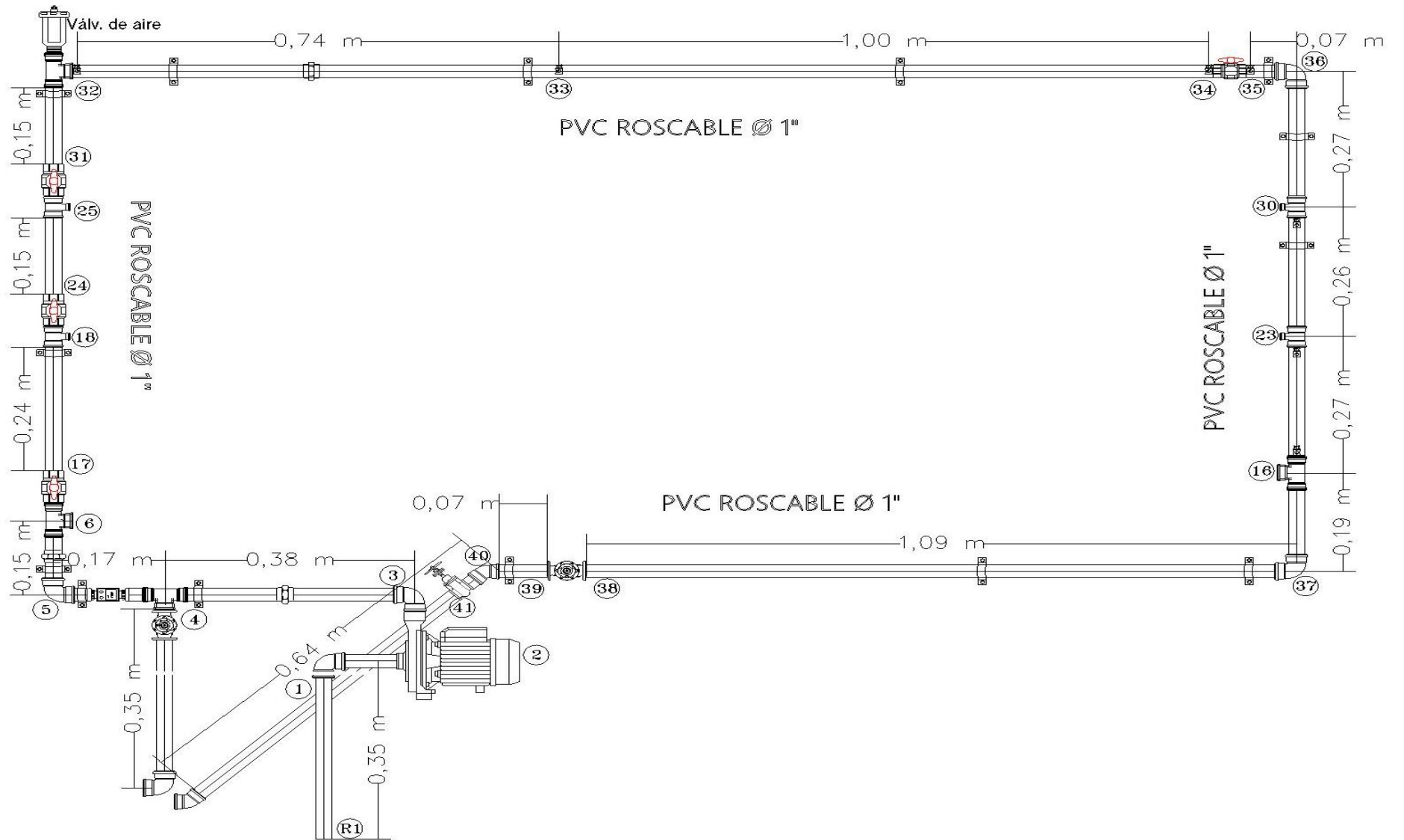


Fuente: El autor

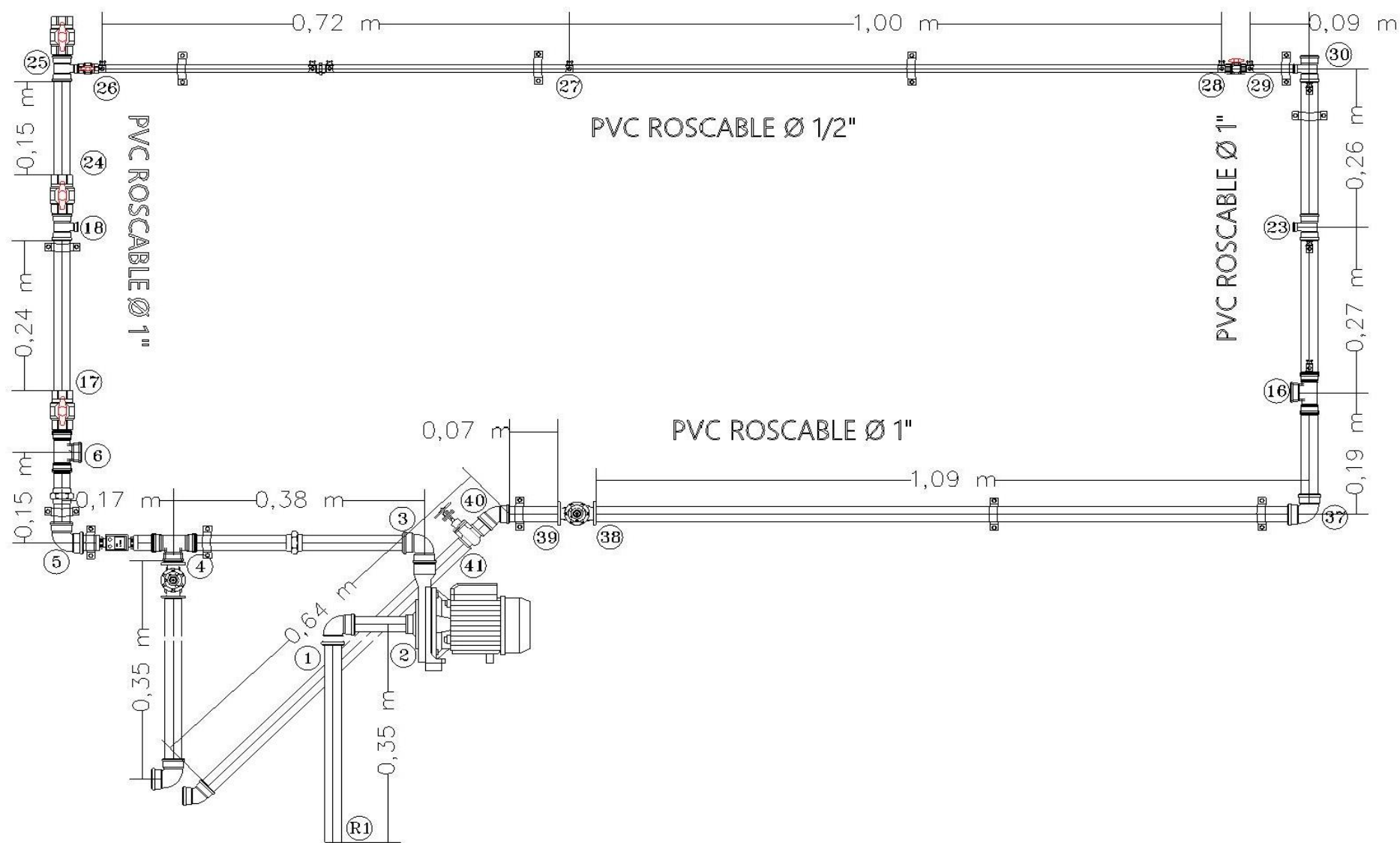
5.7 Anexo G. Banco de Pruebas



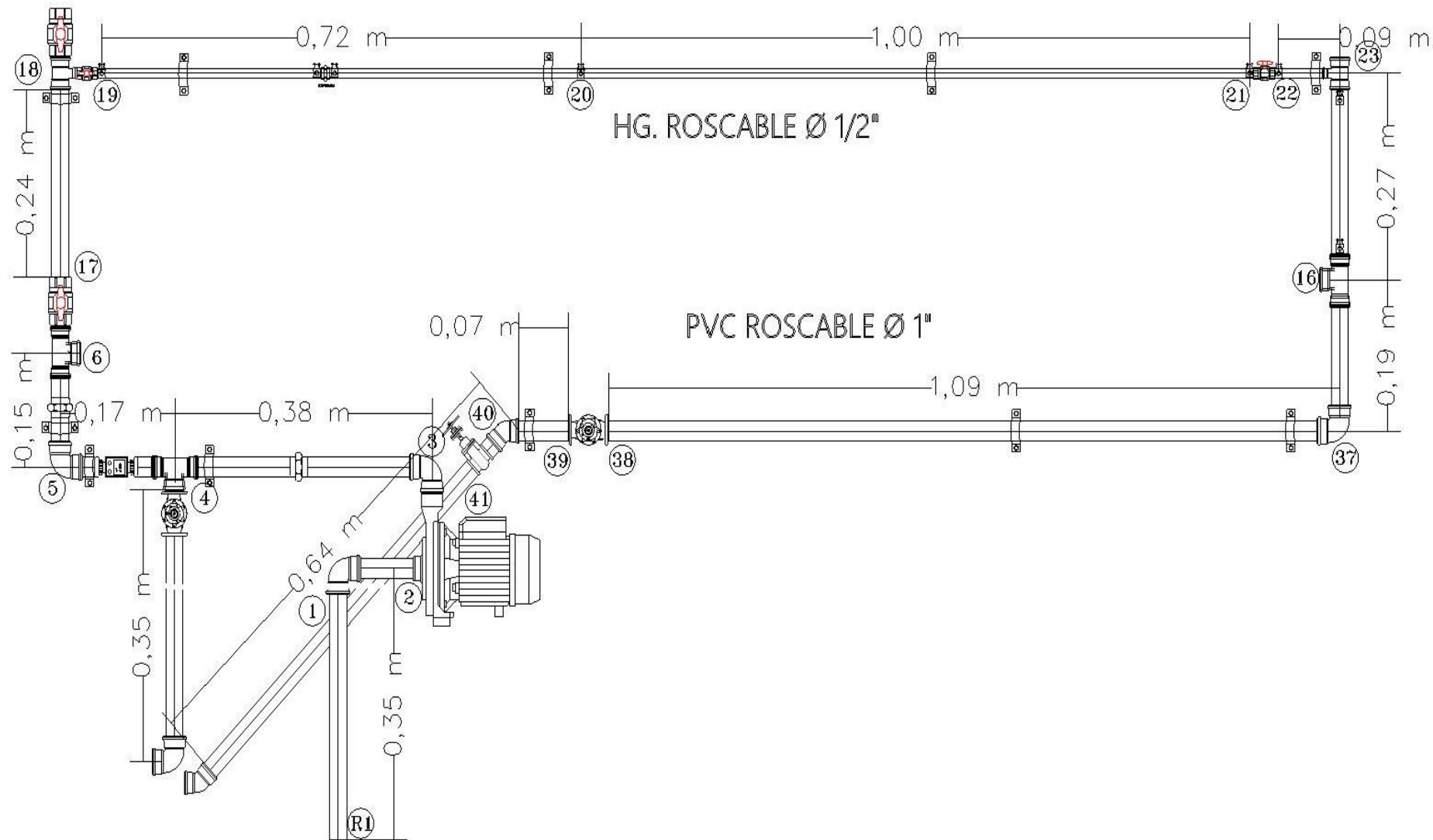
5.8 Anexo H. Ramal 1



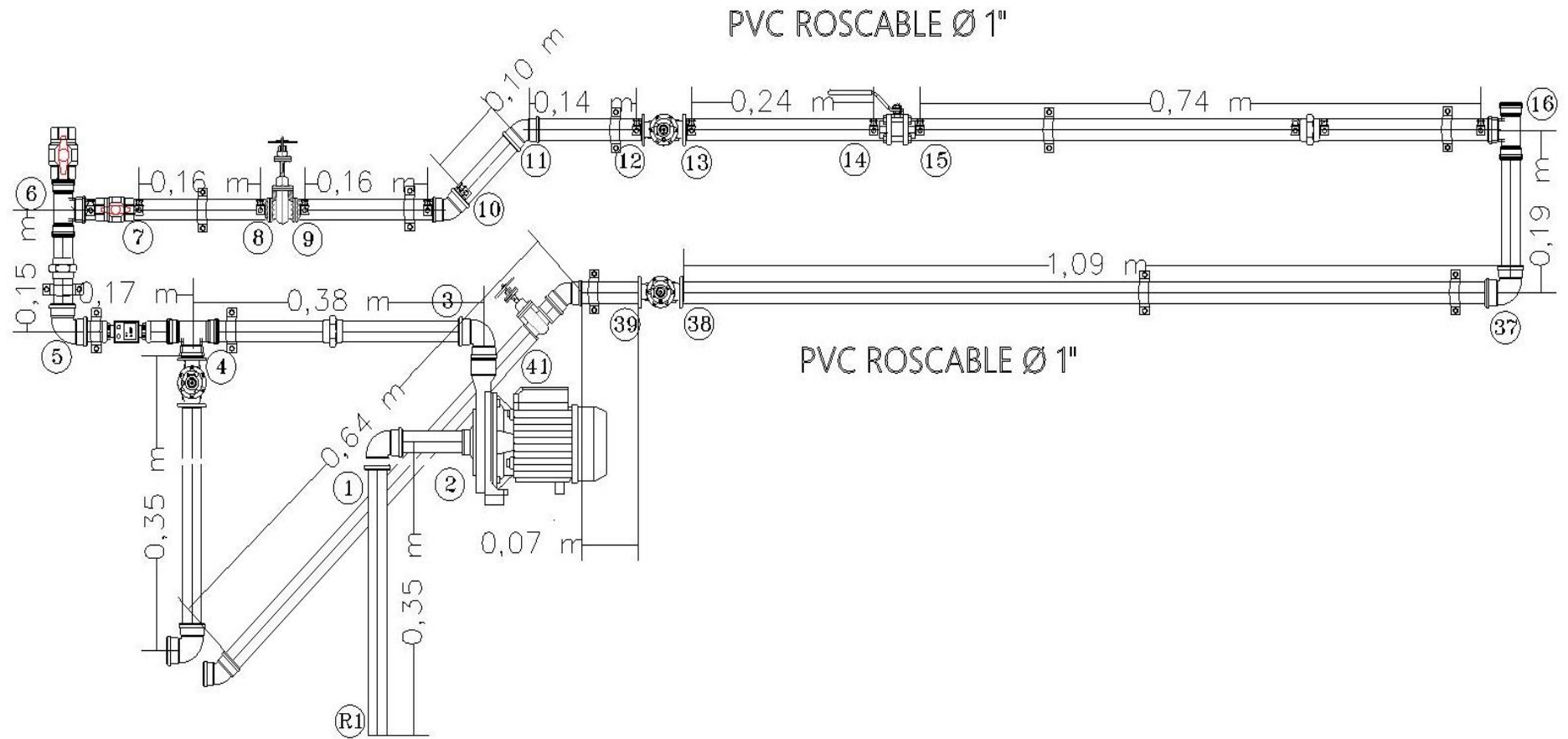
5.9 Anexo I. Ramal 2



5.10 Anexo J. Ramal 3



5.11 Anexo K. Ramal 4



5.12 Anexo L. Cálculos del Ramal 1

Nudo inicio	Nudo final	L (m) tramo	Cota nudo inicial (m)	Cota nudo final (m)	Q (L/s) tramo	D inter (m) tramo	Ecu Bomb Hb (m)	Velocidad (m/s)	Re (adim)	Fac Fric f (adim)	hL de carga tramo (m)	Accesorio	Fac Resis K	hm menor tramo (m)	hL+hm tramo (m)	hL+hm/km EPANET	hL+hm acumulada	Cot Piez. final (m)	Pres nudo final (m)	Pérd Pres Tramo (m)
R1	1	0.35	0.30	0.41	0.8636	0.0243	4.33	1.86	45250	0.021	0.05	1 codo 90°	0.50	0.09	0.14	409	0.14			
1	2		0.41	0.41	0.8636	0.0243	4.33	1.86	45250	0.021	0.00	1 bomb		0.00	0.00		0.14	4.33	3.92	
2	3	0.13	0.41	0.54	0.8636	0.0243	4.33	1.86	45250	0.021	0.02	1 codo 90°	0.50	0.09	0.11	836	0.25	4.22	3.68	0.24
3	4	0.38	0.54	0.54	0.8636	0.0243	4.33	1.86	45250	0.021	0.06	1 cod 90°+1univ	1.10	0.19	0.25	668	0.51	3.97	3.43	0.25
4	5	0.17	0.54	0.54	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.02	1 caudalm	2.50	0.36	0.38	2220	0.88	3.59	3.05	0.38
5	6	0.15	0.54	0.69	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.02	1 cod 90°+1univ	1.10	0.16	0.18	1171	1.06	3.42	2.73	0.33
6	17		0.69	0.91	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.00	1 tee+1 valv b	0.50	0.07	0.07		1.13	3.35	2.44	0.29
17	18	0.24	0.91	1.15	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.03			0.00	0.03	129	1.16	3.32	2.17	0.27
18	24		1.15	1.26	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.00	1 tee+1 valv b	0.50	0.07	0.07		1.23	3.24	1.98	0.18
24	25	0.15	1.26	1.41	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.02			0.00	0.02	129	1.25	3.23	1.82	0.17
25	31		1.41	1.53	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.00	1 tee+1 valv b	0.50	0.07	0.07		1.32	3.15	1.62	0.19
31	32	0.15	1.53	1.68	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.02			0.00	0.02	129	1.34	3.13	1.45	0.17
32	33	0.74	1.68	1.68	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.10	1 tee+1 univ	0.90	0.13	0.22	301.6	1.56	2.91	1.23	0.22
33	34	1	1.68	1.68	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.13			0.00	0.13	129	1.69	2.78	1.10	0.13
34	35		1.68	1.68	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.00	1 valv bol	0.20	0.03	0.03		1.72	2.75	1.07	0.03
35	36	0.05	1.68	1.68	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.01			0.00	0.01	129	1.73	2.75	1.07	0.01
36	30	0.27	1.68	1.41	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.03	1 cod 90°	0.50	0.07	0.11	392	1.83	2.64	1.23	0.16
30	23	0.26	1.41	1.15	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.03	1 tee	0.30	0.04	0.08	293	1.91	2.57	1.42	0.18
23	16	0.27	1.15	0.79	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.03	1 tee	0.30	0.04	0.08	287	1.99	2.49	1.70	0.28
16	37	0.2	0.79	0.59	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.03	1 tee	0.30	0.04	0.07	342	2.06	2.42	1.83	0.13
37	38	1.06	0.59	0.59	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.14	1 cod 90°	0.50	0.07	0.21	196	2.26	2.21	1.62	0.21
38	39		0.59	0.59	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.00	1 valv reten	2.50	0.36	0.36		2.62	1.86	1.27	0.36
39	40	0.07	0.59	0.59	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.01			0.00	0.01	129	2.63	1.85	1.26	0.01
40	41		0.59	0.41	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.00	1vi mt b+1cd45°	10.42	1.48	1.48		4.11	0.37	0.0	1.30
41	R1	0.41	0.41	0.30	0.7746	0.0243	6.26	1.67	40586	0.022	0.05	1 cod 45°	0.42	0.06	0.11	274	4.22	0.25	0.0	0.00

5.13 Anexo M. Cálculos de Ramal 2

Nudo inicio	Nudo final	L (m) tramo	Cota nudo inicial (m)	Cota nudo final (m)	Q (L/s) tramo	D inter (m) tramo	Ecu Bomb Hb (m)	Velocidad (m/s)	Re (adim)	Fac Fric f (adim)	hL de carga tramo (m)	Accesorio	Fac Resis K	hm menor tramo (m)	hL+hm tramo (m)	hL+hm/km EPANET	hL+hm acumulada	Cot Piez. final (m)	Pres nudo final (m)	Pérd Pres Tramo (m)
R1	1	0.35	0.30	0.41	0.7963	0.0243	5.79	1.72	41723.5	0.022	0.05	1 codo 90°	0.50	0.08	0.12	350	0.12			
1	2		0.41	0.41	0.7963	0.0243	5.79	1.72	41723.5	0.022	0.00	1 bomb		0.00	0.00		0.00	5.79	5.38	
2	3	0.13	0.41	0.54	0.7963	0.0243	5.79	1.72	41723.5	0.022	0.02	1 codo 90°	0.50	0.08	0.09	713	0.09	5.70	5.16	0.22
3	4	0.38	0.54	0.54	0.7963	0.0243	5.79	1.72	41723.5	0.022	0.05	1 cod 90°+1univ	1.10	0.17	0.22	570	0.31	5.48	4.94	0.22
4	5	0.17	0.54	0.54	0.5627	0.0243	10.81	1.21	29483.6	0.024	0.01	1 caudalm	2.50	0.19	0.20	1176	0.51	5.28	4.74	0.20
5	6	0.15	0.54	0.69	0.5627	0.0243	10.81	1.21	29483.6	0.024	0.01	1 cod 90°+1univ	1.10	0.08	0.09	623	0.60	5.19	4.50	0.24
6	17		0.69	0.91	0.5627	0.0243	10.81	1.21	29483.6	0.024	0.00	1 tee +1 valv b	0.50	0.04	0.04		0.64	5.15	4.24	0.26
17	18	0.24	0.91	1.15	0.5627	0.0243	10.81	1.21	29483.6	0.024	0.02			0.00	0.02	73	0.66	5.14	3.99	0.26
18	24		1.15	1.26	0.5627	0.0243	10.81	1.21	29483.6	0.024	0.00	1tee+1 val b	0.50	0.04	0.04		0.70	5.10	3.84	0.15
24	25	0.15	1.26	1.41	0.5627	0.0243	10.81	1.21	29483.6	0.024	0.01			0.00	0.01	73	0.71	5.09	3.68	0.16
25	26		1.41	1.41	0.5627	0.0139	10.81	3.72	51617.6	0.021	0.00	1tee+1 val b	0.80	0.56	0.56		1.27	4.52	3.11	0.56
26	27	0.72	1.41	1.41	0.5627	0.0139	10.81	3.72	51617.6	0.021	0.77	1 universal	1.08	0.76	1.53		2.80	2.99	1.58	1.53
27	28	1	1.41	1.41	0.5627	0.0139	10.81	3.72	51617.6	0.021	1.07			0.00	1.069		3.87	1.92	0.51	1.07
28	29		1.41	1.41	0.5627	0.0139	10.81	3.72	51617.6	0.021	0.00	1 valv bola	0.50	0.35	0.35		4.22	1.57	0.16	0.35
29	30	0.09	1.41	1.41	0.5627	0.0139	10.81	3.72	51617.6	0.021	0.10			0.00	0.096		4.32	1.47	0.06	0.10
30	23	0.26	1.41	1.15	0.5627	0.0243	10.81	1.21	29483.6	0.024	0.02	1 tee	0.30	0.02				1.47	0.32	0.26
23	16	0.27	1.15	0.79	0.5627	0.0243	10.81	1.21	29483.6	0.024	0.02	1 tee	0.30	0.02	0.04	156	4.36	1.43	0.64	0.32
16	37	0.2	0.79	0.59	0.5627	0.0243	10.81	1.21	29483.6	0.024	0.01	1 tee	0.30	0.02	0.04	186	4.40	1.40	0.81	0.16
37	38	1.06	0.59	0.59	0.5627	0.0243	10.81	1.21	29483.6	0.024	0.08	1 cod 90°	0.50	0.04	0.11	108	4.51	1.28	0.69	0.11
38	39		0.59	0.59	0.5627	0.0243	10.81	1.21	29483.6	0.024	0.00	1 valv	2.50	0.19	0.19		4.70	1.09	0.50	0.19
39	40	0.07	0.59	0.59	0.5627	0.0243	10.81	1.21	29483.6	0.024	0.01			0.00	0.01	73	4.71	1.09	0.50	0.01
40	41		0.59	0.41	0.5627	0.0243	10.81	1.21	29483.6	0.024	0.00	1vl b mt+1cd45°	10.42	0.78	0.78		5.49	0.31	0	0.60
41	R1	0.64	0.41	0.3	0.5627	0.0243	10.81	1.21	29483.6	0.024	0.05	1 cd 45°	0.42	0.03	0.08	122	5.57	0.23	0	0.03

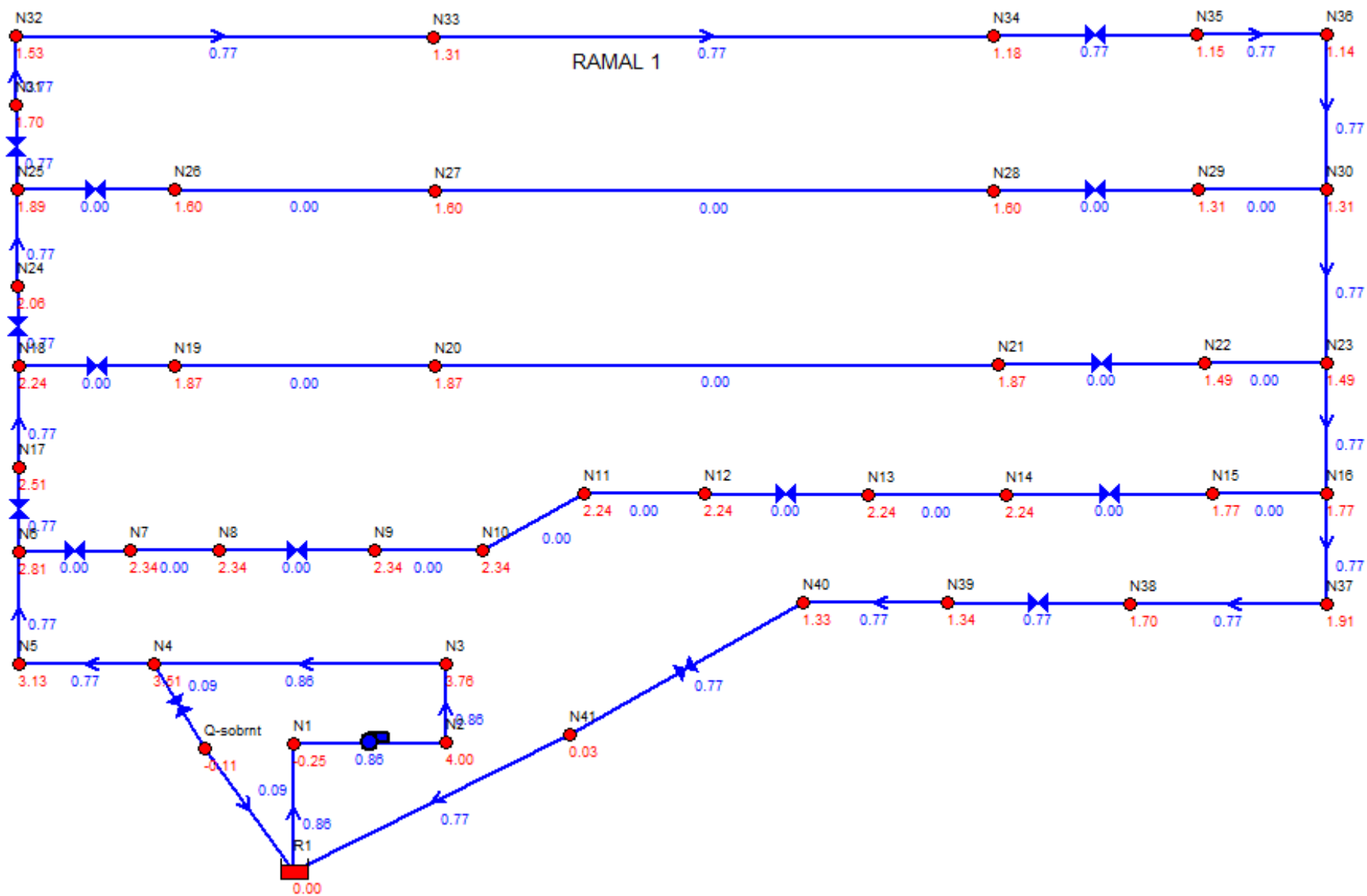
5.14 Anexo N. Cálculos del Ramal 3

Nudo inicio	Nudo final	L (m) tramo	Cota nudo inicial (m)	Cota nudo final (m)	Q (L/s) tramo	D inter (m) tramo	Ecu Bomb Hb (m)	Velocidad (m/s)	Re (adim)	Fac Fric f (adim)	hL de carga tramo (m)	Accesorio	Fac Resis K	hm menor tramo (m)	hL+hm tramo (m)	hL+hm/km EPANET	hL+hm acumulada	Cot Piez. final (m)	Pres nudo final (m)	Pérd Pres Tramo (m)
R1	1	0.35	0.30	0.41	0.8155	0.0243	5.38	1.76	42729	0.022	0.05	1 codo 90°	0.50	0.08	0.13	366	0.13			
1	2		0.41	0.41	0.8155	0.0243	5.38	1.76	42729	0.022	0.00	1 bomb		0.00	0.00		0.00	5.38	4.97	
2	3	0.13	0.41	0.54	0.8155	0.0243	5.38	1.76	42729	0.022	0.02	1 codo 90°	0.50	0.08	0.10	747	0.10	5.28	4.74	0.23
3	4	0.38	0.54	0.54	0.8155	0.0243	5.38	1.76	42729	0.022	0.05	1 cod 90°+1univ	1.10	0.17	0.23	597	0.32	5.05	4.51	0.23
4	5	0.17	0.54	0.54	0.4686	0.0243	12.80	1.01	24553	0.025	0.01	1 caudalm	2.50	0.13	0.14	818	0.46	4.91	4.37	0.14
5	6	0.15	0.54	0.69	0.4686	0.0243	12.80	1.01	24553	0.025	0.01	1 cod 90°+1univ	1.10	0.06	0.07	434	0.53	4.85	4.16	0.22
6	17		0.69	0.91	0.4686	0.0243	12.80	1.01	24553	0.025	0.00	1 tee +1 valv b	0.50	0.03	0.03		0.55	4.82	3.91	0.25
17	18	0.24	0.91	1.15	0.4686	0.0243	12.80	1.01	24553	0.025	0.01			0.00	0.01	53	0.57	4.81	3.66	0.25
18	19		1.15	1.15	0.4686	0.0139	12.80	3.10	42986	0.041	0.00	1tee+1 val b	0.80	0.39	0.39		0.96	4.42	3.27	0.39
19	20	0.72	1.15	1.15	0.4686	0.0139	12.80	3.10	42986	0.041	1.03	1 universal	1.08	0.53	1.56	2164	2.52	2.86	1.71	1.56
20	21	1	1.15	1.15	0.4686	0.0139	12.80	3.10	42986	0.041	1.43			0.00	1.43	1431	3.95	1.43	0.28	1.43
21	22		1.15	1.15	0.4686	0.0139	12.80	3.10	42986	0.041	0.00	1 valv bol	0.50	0.24	0.24		4.19	1.19	0.04	0.24
22	23	0.09	1.15	1.15	0.4686	0.0139	12.80	3.10	42986	0.041	0.13			0.00	0.129	1431	4.32	1.06	0	0.13
23	16	0.27	1.15	0.79	0.4686	0.0243	12.80	1.01	24553	0.025	0.01	1 tee	0.30	0.02	0.03	111	4.35	1.03	0.24	0.33
16	37	0.2	0.79	0.59	0.4686	0.0243	12.80	1.01	24553	0.025	0.01	1 tee	0.30	0.02	0.03	131	4.38	1.00	0.41	0.17
37	38	1.06	0.59	0.59	0.4686	0.0243	12.80	1.01	24553	0.025	0.06	1 cod 90°	0.50	0.03	0.08	77	4.46	0.92	0.33	0.08
38	39		0.59	0.59	0.4686	0.0243	12.80	1.01	24553	0.025	0.00	1 valv	2.50	0.13	0.13		4.59	0.79	0.20	0.13
39	40	0.07	0.59	0.59	0.4686	0.0243	12.80	1.01	24553	0.025	0.00			0.00	0.00	53	4.59	0.79	0.20	0.00
40	41		0.59	0.41	0.4686	0.0243	12.80	1.01	24553	0.025	0.00	1vl b mt+1cd45°	10.42	0.54	0.54		5.14	0.24	0	0.36
41	R1	0.64	0.41	0.3	0.4686	0.0243	12.80	1.01	24553	0.025	0.03	1 cd 45°	0.42	0.02	0.06	87	5.19	0.19	0	0.05

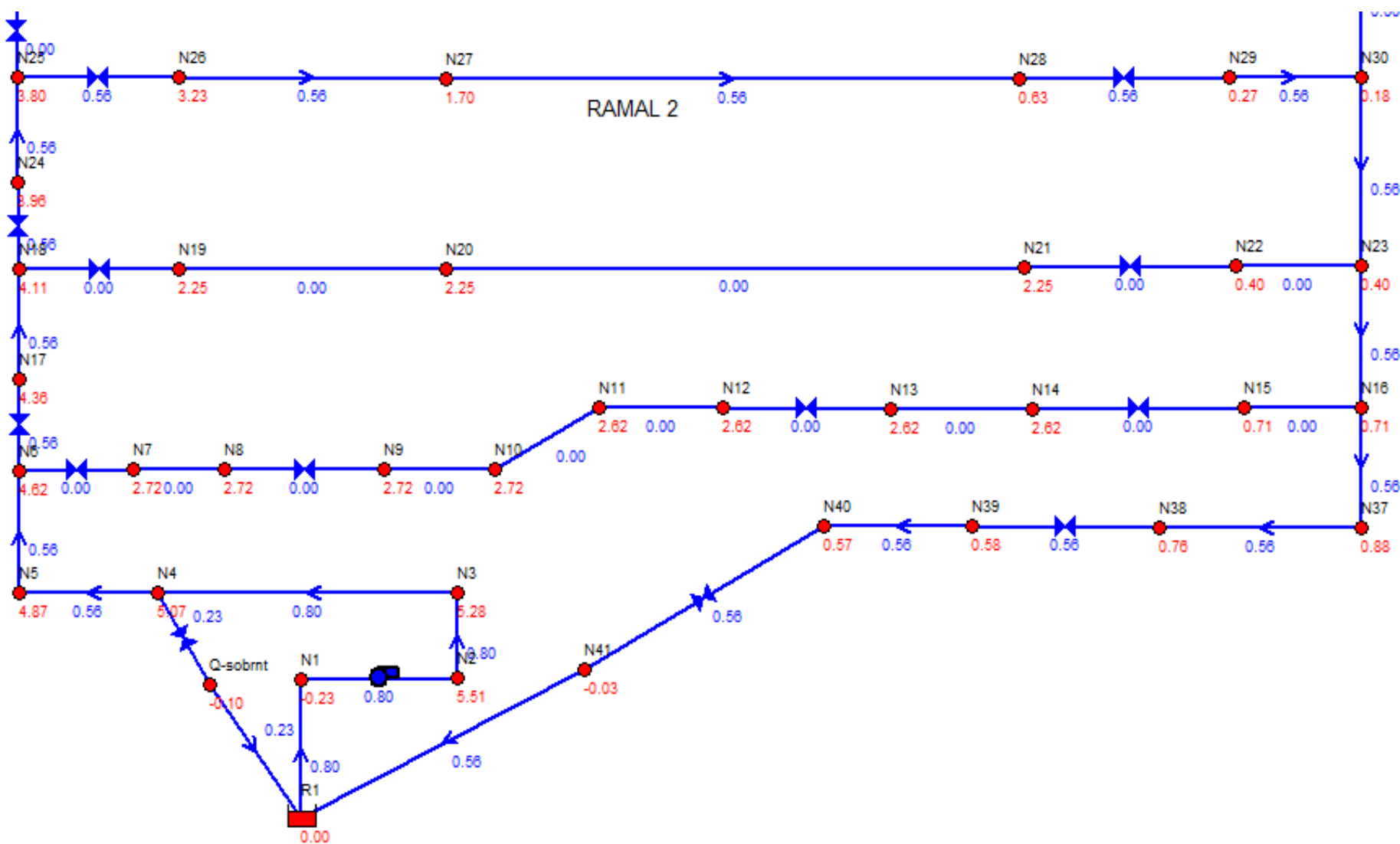
5.15 Anexo O. Cálculos del Ramal 4

Nudo inicio	Nudo final	L (m) tramo	Cota nudo inicial (m)	Cota nudo final (m)	Q (L/s) tramo	D inter (m) tramo	Ecu Bomb Hb (m)	Velocidad (m/s)	Re (adim)	Fac Fric f (adim)	hL de carga tramo (m)	Accesorio	Fac Resist K	hm menor tramo (m)	hL+hm tramo (m)	hL+hm/km EPANET	hL+hm acumuld	Cot Piez. final (m)	Pres nudo final (m)	Pérd Pres Tramo (m)
R1	1	0.35	0.30	0.41	0.9179	0.02430	3.15	1.98	48095	0.021	0.06	1 codo 90°	0.50	0.10	0.16	459	0.16			
1	2		0.41	0.41	0.9179	0.02430	3.15	1.98	48095	0.021	0.00	1 bomb		0.00	0.00		0.00	3.15	2.74	
2	3	0.13	0.41	0.54	0.9179	0.02430	3.15	1.98	48095	0.021	0.02	1 codo 90°	0.50	0.10	0.12	942	0.12	3.03	2.49	0.25
3	4	0.38	0.54	0.54	0.9179	0.02430	3.15	1.98	48095	0.021	0.07	1 cod 90°+1univ	1.10	0.22	0.29	752	0.41	2.74	2.20	0.29
4	5	0.17	0.54	0.54	0.5873	0.02430	10.28	1.27	30773	0.023	0.01	1 caudalm	2.50	0.20	0.22	1281	0.63	2.52	1.98	0.22
5	6	0.15	0.54	0.69	0.5873	0.02430	10.28	1.27	30773	0.023	0.01	1 cod 90°+1univ	1.10	0.09	0.10	678	0.73	2.42	1.73	0.25
6	7		0.69	0.69	0.5873	0.02430	10.28	1.27	30773	0.023	0.00	1tee +1 valv b	0.50	0.04	0.04		0.77	2.38	1.69	0.04
7	8	0.16	0.69	0.69	0.5873	0.02430	10.28	1.27	30773	0.023	0.01			0.00	0.01		0.78	2.37	1.68	0.01
8	9		0.69	0.69	0.5873	0.02430	10.28	1.27	30773	0.023	0.00	1 vl copm reg	0.20	0.02	0.02		0.80	2.35	1.66	0.02
9	10	0.16	0.69	0.69	0.5873	0.02430	10.28	1.27	30773	0.023	0.01			0.00	0.01	79	0.81	2.34	1.65	0.01
10	11	0.1	0.69	0.79	0.5873	0.02430	10.28	1.27	30773	0.023	0.01	1 cd 45°	0.42	0.03	0.04		0.85	2.30	1.51	0.14
11	12	0.14	0.79	0.79	0.5873	0.02430	10.28	1.27	30773	0.023	0.01	1 cd 45°	0.42	0.03	0.05	324	0.90	2.25	1.46	0.05
12	13		0.79	0.79	0.5873	0.02430	10.28	1.27	30773	0.023	0.00	1 vl cheque	2.50	0.20	0.204		1.10	2.05	1.26	0.20
13	14	0.24	0.79	0.79	0.5873	0.0243	10.28	1.27	30773	0.023	0.02			0.00	0.02	79	1.12	2.03	1.24	0.02
14	15		0.79	0.79	0.5873	0.0243	10.28	1.27	30773	0.023	0.00	1 valv met bol	4.25	0.35	0.347		1.47	1.68	0.89	0.35
15	16	0.74	0.79	0.79	0.5873	0.0243	10.28	1.27	30773	0.023	0.06	1 universal	0.60	0.05	0.11	145	1.58	1.57	0.78	0.11
16	37	0.19	0.79	0.59	0.5873	0.0243	10.28	1.27	30773	0.023	0.01	1 tee	0.30	0.02	0.04	208	1.62	1.53	0.94	0.16
37	38	1.06	0.59	0.59	0.5873	0.0243	10.28	1.27	30773	0.023	0.08	1 cod 90°	0.50	0.04	0.12	117	1.74	1.41	0.82	0.12
38	39		0.59	0.59	0.5873	0.0243	10.28	1.27	30773	0.023	0.00	1 valv	2.50	0.20	0.20		1.94	1.21	0.62	0.20
39	40	0.07	0.59	0.59	0.5873	0.0243	10.28	1.27	30773	0.023	0.01			0.00	0.01	79	1.95	1.20	0.61	0.01
40	41		0.59	0.41	0.5873	0.0243	10.28	1.27	30773	0.023	0.00	1vl b mt+1cd45°	10.42	0.85	0.85		2.80	0.35	0	0.67
41	R1	0.64	0.41	0.3	0.5873	0.0243	10.28	1.27	30773	0.023	0.05	1 cd 45°	0.42	0.03	0.08	132	2.89	0.26	0	0.03

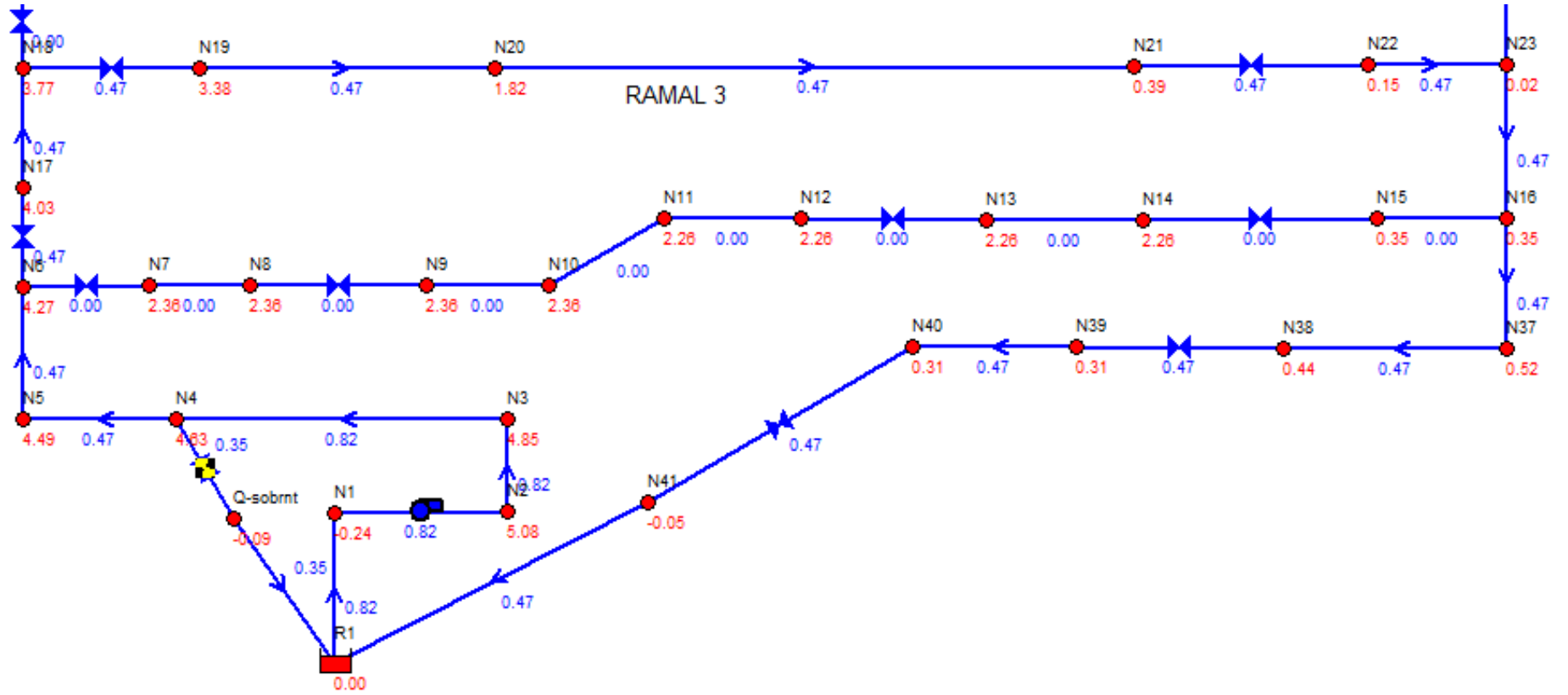
5.16 Anexo P. Simulación en EPANET (Ramal 1)



5.17 Anexo Q. Simulación en EPANET (Ramal 2)



5.18 Anexo R. Simulación en EPANET (Ramal 3)



5.19 Anexo S. Simulación en EPANET (Ramal 4)

