

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA
MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**"CALIBRACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE TUBERÍAS
DEL SISTEMA IRRIGACIÓN PANGO, SUBTRONCAL 3 -
DEPARTAMENTO DE JUNÍN"**

Presentado por:

CARLOS ALBERTO PAZ CÁRDENAS

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA

Lima - Perú
2018

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios, por darme la fortaleza para seguir adelante a pesar de las adversidades.

A mis padres Bernardita y Miguel, por su amor inquebrantable para sus hijos, la educación recibida y la enseñanza de perseverancia en la vida.

A mis hermanos Roxana y Miguel, por impulsarme a realizar mis sueños.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina, mi alma mater.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento:

Al Proyecto Especial Pichis Palcazú (PEPP) por hacer posible e incentivar la ciencia en nuestro país. Al Ing. Adriel Borda Chipana por darme la oportunidad de realizar esta investigación en la obra “Sistema de Irrigación Pangoa” y el apoyo para el término de la presente tesis.

Al Ing. Jorge Vásquez Chichipe, por los consejos que me impartió en mi desarrollo como profesional.

Al Ing. Jarwy Arturo Gómez Fasanando, por alentarme y motivarme para realizar la presente investigación.

Al Ing. Efraín Cáceres Palomino, por el compromiso de forjar profesionales de calidad.

A los maestros de obra Arnaldo Jauregui y Alejandro Cabanillas por sus valiosas enseñanzas.

A la Dra. Lía Ramos Fernández, patrocinadora de la presente tesis, por su invaluable apoyo, compromiso y guía durante la ejecución del trabajo. A los miembros del jurado calificador Mg. Sc. Miguel Sánchez, Mg. Sc. David Ascencios y Mg. Sc. Rosa Miglio.

A los trabajadores del Sistema de Irrigación Pangoa.

RESUMEN

Alcanzar el uso eficiente del agua requiere un proceso de medición minucioso de los caudales que circulan en las diferentes etapas de conducción y distribución, cuyo resultado determina la cantidad disponible de dicho recurso, lo que a su vez brinda la oportunidad de proponer medidas eficaces en el uso del mismo. En ese sentido, frente a los múltiples resultados que se pueden obtener bajo el empleo de un modelo hidráulico aplicado en redes, se determinó que el uso de ciertos instrumentos de medición, permitió alcanzar variables hidráulicas más exactas en el seguimiento eficaz del agua. En la presente investigación se calibró un medidor de tipo ultrasónico para sistemas de abastecimiento de agua con fines de riego, convirtiéndolo en una alternativa tecnológica de medición confiable, no invasiva y de fácil instalación, alcanzando una mejora considerable en la gestión técnica y el control en la reducción de las pérdidas de agua en estos sistemas de abastecimiento. La investigación se dividió en tres etapas; la primera etapa consistió en la calibración del medidor de flujo ultrasónico mediante la implementación de un tanque de pruebas, donde se determinó que el factor de calibración del medidor es 1.09 para las condiciones específicas del proyecto y asimismo, fue necesario obtener la curva de calibración de caudal para el canal San Ramón; aquí se estableció la altura de agua necesaria que garantiza el ingreso de 280 litros/seg para el abastecimiento del Subtronal 3. La segunda etapa consistió en realizar los cálculos hidráulicos a través de un modelo hidráulico Watercad, cuyos resultados sirvieron como base para el monitoreo de los caudales en campo utilizando el medidor de flujo ultrasónico calibrado, actividad que forma parte de la tercera etapa. Finalmente, de los resultados del monitoreo se ha constatado que el uso del medidor de flujo ultrasónico calibrado representa el caudal que circula por la red hidráulica, siendo una opción de empleo en actividades relacionadas al monitoreo y control del caudal.

ABSTRACT

Achieve the efficient use of water requires a meticulous measurement process of its flow rates on the different stages of a conduction and distribution system, the result of measurement determines the available quantity of this resource, which offered the opportunity to propose effective ways in the use of water, in this sense, in view of the multiple results that can be obtained under the use of a hydraulic model applied in networks, it was determined that the use of certain measuring instruments allowed to reach the most exact hydraulic variables in water monitoring. In the present research an ultrasonic flowmeter has been calibrated for water supply systems for irrigation purposes, turning it into a reliable, non-invasive and easy-to-install technological measurement alternative, achieving a considerable improvement in the management and the control of water losses in these water supply systems. The investigation was divided into three phases; The first stage consisted in the calibration of “Ultrasonic Flowmeter (UF)” through the installation of a test tank, where it was determined that the UF’s calibration factor was 1.09 for the specific project conditions, also it was necessary to obtain the flow calibration for the San Ramón water channel; Also, here the necessary water level was established, which guarantees the entry of 280 liters per second for supply of "Subtronal 3". The second stage consisted of performing the hydraulic calculations using a hydraulic model in Watercad, whose results were considered as a basis for the monitoring of the flow rates in the field, using the calibrated UF, this last one activity is the third stage. Finally, the results of the monitoring determine that the use of the calibrated UF represents the hydraulic network flow, which is used in activities related to the monitoring and control.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Dedicatoria.....	i
Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Abstract.....	iv
I. Introducción.....	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivo específico	2
II. Revisión de literatura.....	3
2.1. Hidráulica del flujo en tuberías	3
2.1.1. Ecuaciones que gobiernan el flujo.....	5
2.1.2. Ecuaciones de resistencia al flujo	7
2.1.3. Red hidráulica de tuberías.....	8
2.1.4. Velocidad y clase en tuberías.....	9
2.2. Modelos hidráulicos.....	11
2.2.1. Watercad.....	12
2.3. Caudalímetro ultrasónico para tuberías.....	13
2.3.1. Caudalímetro ultrasónico de tiempo de tránsito.....	13
2.3.2. Criterios de selección	14
2.3.3. Requerimientos de instalación física	15
2.3.4. Ventajas y desventajas.....	18
III. Materiales y métodos.....	19
3.1. Zona de estudio.....	19
3.1.1. Climatología.....	20
3.1.2. Hidrología.....	20
3.1.3. Calidad del agua.....	23
3.1.4. Geología y fisiografía	23
3.2. Sistema de Irrigación Pangoa	23

3.3.	Materiales, equipos y herramientas computacionales.....	26
3.4.	Procedimiento.....	26
3.4.1.	Calibración del equipo ultrasónico de tiempo de tránsito	28
3.4.2.	Caracterización de la red hidráulica de tuberías (Subtronal 3).....	32
3.4.3.	Monitoreo del caudal tipo ultrasónico para evaluación de la red.....	34
IV.	Resultados y discusión	37
4.1.	Calibración del equipo ultrasónico de tiempo de tránsito	37
4.2.	Caracterización de la red hidráulica de tuberías (Subtronal 3).....	43
4.3.	Monitoreo del caudal tipo ultrasónico para evaluación de la red.....	49
V.	Conclusiones	53
VI.	Recomendaciones.....	55
VII.	Referencias bibliográficas.....	57
VIII.	Anexos.....	61

Índice de Tablas

	Página
Tabla 1: Coeficientes de rugosidad para tuberías según el tipo de material utilizando las fórmulas de Hazen – Williams y Darcy - Weisbach.....	8
Tabla 2: Velocidades máximas y mínimas permisibles en tuberías según el material	9
Tabla 3: Diámetro, longitud y espesor según la clase del tubo (PVC–U) utilizados en el Sistema de Irrigación Pangoa.....	10
Tabla 4: Información meteorológica disponible de la Estación Satipo para el período 1964-1982 y 1991-2009	20
Tabla 5: Valores de la calidad del agua del río San Ramón y valores máximos recomendables	23
Tabla 6: Resumen de materiales, equipos y herramientas computacionales utilizados en la investigación	26
Tabla 7: Valores del caudal actual (Qa) por el método volumétrico, caudal registrado (Qr) a través del método de flujo ultrasónico y el factor de calibración (K) en tuberías PVC - U marca Gerfor	39
Tabla 8: Valores de velocidad por el método del correntómetro y cálculo de caudal a través de la ecuación de continuidad en relación con la altura de agua (H).....	41
Tabla 9: Aplicación ecuaciones de calibración de caudal en cada sección transversal para obtener el caudal máximo, la altura de agua para un caudal de 280 l/s, 186.6 l/s y 161 l/s	43
Tabla 10: Resumen de las características de nodos demandantes o hidrantes (H) para el Subtronal3, Subramal 11 y Subramal 12	46

Índice de Figuras

	Página
Figura 1: Energías de posición, presión y velocidad.....	6
Figura 2: Vista superior del principio de medición del caudalímetro ultrasónico de Tiempo de tránsito.....	14
Figura 3: Correcta posición del transductor sobre la tubería en función de la configuración de la tubería y el diámetro	16
Figura 4: Instalación de transductores en la tubería en función del diámetro: método V (a), método Z (b) y método W (c) - vista superior de la tubería.....	17
Figura 5: Ubicación general de la zona de estudio dentro del Sistema de Irrigación Pangoa en la microcuenca San Ramón de la cuenca Perené en la provincia de Satipo, región Junín.....	19
Figura 6: Esquema hidráulico del Sistema de Irrigación Pangoa y decodificación de los subtruncales, ramales y subramales que comprenden el Subsistema San Ramón derecho e izquierdo que tiene como fuente de agua el río San Ramón ...	21
Figura 7: Esquema hidráulico del Sistema de Irrigación Pangoa y detalles del canal San Ramón que empalma con el Subtruncal 3	22
Figura 8: Válvula de aire triple función con llenado de canalización (a), con desgasificación en presión (b) y con vaciado (c).....	25
Figura 9: Diagrama de flujo de la metodología empleada en el estudio	27
Figura 10: Diseño de tanque de pruebas para medir caudal a través del método volumétrico y de flujo ultrasónico	29
Figura 11: Tanque de prueba para medición de caudal con vista frontal (izquierda) y vista lateral (derecha), identificando el $H_t = 1.3\text{m}$, $H_{mín} = 1\text{m}$, $H_L = 0.65\text{m}$, entrada ($\phi = 200\text{ mm}$), rebose ($\phi = 8''$) y conducción ($\phi = 8''$) del agua en el tanque.....	37
Figura 12: Trabajos preliminares de implementación de parantes (a), colocación de clavos para el soporte de las varillas de acero (b), colocación de varillas de acero (c), prueba de caudal con tuberías de PVC-U 160 mm a pendiente de 4% (d), 6% (e) y 10% (f).....	38
Figura 13: Dispersión entre variable caudal por el método volumétrico y caudal de flujo ultrasónico para pendientes de 4%, 6% y 10%. La línea de color azul representa la recta de regresión lineal.....	39
Figura 14: Uso del correntómetro en la sección de control (Tipo I) para determinar la velocidad del flujo (a) y medida de altura de lámina de agua correspondiente (b).....	40
Figura 15: Curva de calibración de caudal (Q en l/s) versus altura de agua (H en m) y velocidad (V en m/s) versus altura de agua (H en m) para el canal San Ramón en las secciones Tipo I y Tipo II. Con fecha 23 de junio del 2017.....	42

Figura 16:	Dispersión para la variable Headloss (perdidas por ficción) según Hazen – Williams ($C=150$) y Darcy – Weisbach ($e=0.00000152m$). La línea de color azul representa la recta de regresión lineal	43
Figura 17:	Perfil hidráulico que relaciona elevación - gradiente hidráulico, distancia - presión y vista en planta de Subtronal 3	45
Figura 18:	Perfil hidráulico el cual relaciona elevación - gradiente hidráulico, distancia - presión y vista en planta del Subramal 11	47
Figura 19:	Perfil hidráulico el cual relaciona elevación - gradiente hidráulico, distancia - presión y vista en planta del Subramal 12	48
Figura 20:	Limpieza en el canal San Ramón de pozas de sedimentación en las progresivas 1+700 (a) y 1+400 (b), toma lateral del Subtronal 3 en la progresiva 1+730.4 (c); limpieza de cámara de purga inundada por lluvias en la progresiva 1+804 del Subtronal 3 (d)	49
Figura 21:	Preparación del punto de control en el Subtronal 3 (km: 1+790.0): excavación (a), limpieza (b), instalación de caudalímetro de tipo flujo ultrasónico (c) y monitoreo de caudal de flujo ultrasónico (d)	50
Figura 22:	Variación de caudal medido a través de caudalímetro ultrasónico con un factor de calibración ($K=1.09$) en las progresivas 1+790.0 ($Q=186.6$ l/s) y 2+620.0 ($Q=161.0$ l/s).....	51

Índice de Anexos

	Página
ANEXO 1	Resultado de análisis agua para la elaboración del estudio agrológico detallado para la elaboración del Expediente Técnico del PIP “Riego Presurizado del Sistema de Irrigación Pangoa..... 61
ANEXO 2	Catálogo de tubos y conexiones para sistemas de abastecimiento de agua – Gerfor..... 63
ANEXO 3	Catálogo de válvulas HFD compuerta Gate – Gay con juntas bridadas y embone para PVC-U DN 140 – 400 mm PN 10-16 bar para el Sistema de Irrigación Pangoa 64
ANEXO 4	Informe de diseño hidráulico de las troncales y ramales del canal principal San Ramón – Margen Derecha Sistema de Irrigación Pangoa 67
ANEXO 5	Resultados de la modelación hidráulica para tuberías y nodos correspondiente al subtronal 3-SUBRAMAL 11, 12 Y 13 – Escenario inicial (material=pvc, Q inicial= 280 M3/S, c=150 Y E=0.00000152m)..... 68
ANEXO 6	Resultados de la modelación hidráulica para tuberías y nodos correspondiente al subtronal 3-SUBRAMAL 11, 12 Y 13 – Escenario en campo (material=pvc, Q inicial= 186.6 M3/S, c=150 Y E=0.00000152m)..... 72

I. INTRODUCCIÓN

Según los registros de precipitación para el estudio de factibilidad del “Sistema de Irrigación Pangoa”, derivado de la estación meteorológica Satipo, el período de lluvias comprende los meses de octubre a marzo, representando el 70 por ciento de la precipitación total anual. Siendo enero el más lluvioso con 287 mm/año; en contraparte, el período de escasez comprende los meses de abril a septiembre, que representa el 30 por ciento de la precipitación total anual, siendo julio el más crítico con 62.5 mm/año, constituyendo una limitación para el desarrollo de una actividad agrícola intensiva.

Por ello, el agua es un factor de producción clave para la agricultura, es así como el “Sistema de Irrigación Pangoa” en el ámbito del Proyecto Especial Pichis Palcazú, plantea aprovechar los recursos hídricos superficiales del río San Ramón para el riego de 2,495 hectáreas. Incrementando las expectativas de producción y estableciendo un sistema de irrigación en base a un diseño por gravedad de un canal abierto que empalme con una red de distribución presurizada de tuberías, para beneficiar a 680 familias.

En la ingeniería hidráulica, para distintos propósitos, es imprescindible la determinación del caudal en un sistema de conducción cerrado o abierto, por ejemplo: en caso de evaluación del diseño hidráulico; diseño de una nueva línea de conducción; ampliación de una línea de conducción; distribución de sistema de riego o procesos de facturación; entre otros. Por ello es necesario utilizar equipos en campo que permitan un control fácil, rápido y con especificaciones de los caudales. Los equipos de medición del flujo volumétrico funcionan con los principios de la mecánica de fluidos como la ecuación de continuidad o principio de Bernoulli (López, 2011). La selección eficaz de un medidor de caudal exige un conocimiento práctico del uso de la tecnología, además de un profundo conocimiento del proceso y del fluido que se quiere medir (García, 1999).

Problemas como la falta de presupuesto para el pago del justiprecio por los terrenos de los beneficiarios, en la instalación de tuberías, y la carencia de programas de sensibilización por parte del Estado, generaron un conflicto sobre la libre disponibilidad del terreno por donde se proyectó el trazo de la red de tuberías. Esto generó que el diseño hidráulico inicial de los

subtroneales del “Sistema de Irrigación Pangoa” tuviera modificaciones, por lo que se buscaron alternativas de solución para no afectar los terrenos de cultivo.

Por tratarse de redes principales fue importante disminuir las pérdidas de carga y alcanzar una medición exacta del caudal para obtener un valor confiable de la eficiencia del sistema, optimizando producción, rendimiento económico y un uso eficiente del agua; por tal razón, a diferencia de los caudalímetros convencionales que tienen desventajas por la restricción de flujo que generan pérdidas de carga, los de tipo flujo ultrasónico se basan en una tecnología no invasiva, es decir, se considera solo la instalación de sensores al exterior de la tubería. Estos equipos miden el tiempo de tránsito de una señal acústica a lo largo de una trayectoria conocida.

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el sistema hidráulico en la Subtroneal 3 del “Sistema de Irrigación Pangoa” a través de la medición de caudal por el método de flujo ultrasónico y la estimación a través de las ecuaciones empíricas.

1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Calibrar el equipo TDS-100H ULTRASONIC FLOWMETER, a las condiciones reales del proyecto.
- Caracterizar la red hidráulica del Subtroneal 3 del Sistema de Irrigación Pangoa.
- Comparar el caudal medido por el equipo de flujo ultrasónico y el estimado por las ecuaciones empíricas Hazen – Williams y Darcy - Weisbach.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. HIDRÁULICA DEL FLUJO EN TUBERÍAS

Una medición precisa de agua conlleva a una eficiencia en la distribución y a una mayor confiabilidad en el control del volumen que se entregan a los usuarios. Para realizar mediciones del agua se requiere conocer ciertos fundamentos y conceptos hidráulicos (MINAGRI, 2004).

En términos prácticos, los flujos se pueden diferenciar en dos clases:

- Flujos a superficie libre, llamados también flujos de gravedad: un ejemplo de este tipo son los canales de riego y los conductos que transportan agua sin llenar su sección, tales como drenes y desagües urbanos.
- Flujos a presión, denominados también flujos a conducto lleno: se caracterizan por que el agua fluye por el conducto, llena la sección y tiene una carga de energía; un ejemplo de este tipo de flujo se presenta en los conductos como sifones, en tuberías de sistema de riego a presión y plantas de bombeo.

a. Definición de flujo y tipos de flujo

Saldarriaga (2007), manifiesta que desde el punto de vista del comportamiento mecánico, un fluido es una sustancia que no puede resistir esfuerzo cortante. Si este se presenta el fluido se deforma y continúa deformándose mientras exista el esfuerzo cortante. En términos sencillos, flujo es el movimiento de un fluido con respecto a un sistema inercial de coordenadas, generalmente ubicado en un contorno sólido. Ejemplos de flujo son el movimiento del agua en el cauce de un río, el movimiento del agua subterránea a través del subsuelo y por supuesto, el movimiento de fluidos en el interior de tuberías.

El flujo en una tubería, o de hecho en cualquier tipo de ducto, se puede determinar mediante las siguientes cantidades físicas: (i) desplazamiento de una partícula de fluido, (ii) velocidad de una partícula de fluido en un punto del campo de flujo y (iii) aceleración de una partícula de fluido en un punto del campo de flujo.

Las anteriores cantidades pueden permanecer constantes o variar con el espacio y/o con el tiempo. Con respecto al espacio, los flujos se clasifican en uniformes (si las cantidades

físicas permanecen constantes en el espacio) y no uniformes. Con respecto al tiempo se clasifican en permanentes o estacionarios (si las cantidades de flujo permanecen constantes en el tiempo) y no permanentes.

b. Medición de flujo

La medición de flujo de fluidos es un proceso complejo debido a que otras magnitudes tienen la influencia determinante en el comportamiento de los medidores de flujo, en algunos casos es afectado también por instalaciones inadecuadas que producen distorsiones en el régimen del flujo, vórtice y vibración (López, 2011).

Ramón et al. (2007), indica que el estudio de movimiento de fluidos se puede realizar a través de la dinámica como también de la energía que estos tienen en su movimiento. Una forma de estudiar el movimiento es fijar la atención en una zona del espacio, en un punto t , en él se especifica la densidad, la velocidad y la presión del fluido. En este punto se examina lo que sucede con el fluido que pasa por él.

Al movimiento del fluido se le llama “flujo” y dependiendo de sus características, se le puede clasificar en:

- Flujo viscoso y no viscoso: los flujos viscosos son aquellos que presentan resistencia al avance. El agua tiene una viscosidad relativamente baja y se derrama con bastante facilidad.
- Flujo incomprensible y comprensible: Los flujos incomprensibles son aquellos en que la densidad ($\rho = Masa/Volumen$) prácticamente permanece constante.
- Flujo laminar y turbulento: en el flujo laminar, el fluido se desplaza en láminas o capas paralelas; en el turbulento las partículas se mueven siguiendo trayectorias muy irregulares.
- Flujo permanente: si las propiedades como la densidad, velocidad y presión no cambian en el tiempo en un punto en el espacio, entonces se dice que el flujo es permanente, pudiendo cambiar de un punto a otro.

c. Fluidos newtonianos y no newtonianos

Mott (1996), menciona que cualquier fluido que se comporte de acuerdo con la ecuación (a) se conoce como newtoniano. Aquel fluido que es sometido a un esfuerzo tangencial o

cortante se deforma con una velocidad que es proporcional directamente al esfuerzo aplicado, es decir, se aplica un esfuerzo tangencial a un fluido newtoniano, este se pondrá en movimiento sin importar cuan pequeño sea el esfuerzo tangencial y se generará una cierta distribución de velocidad en el fluido.

$$\tau = \mu \left(\frac{\Delta v}{\Delta y} \right) \dots (a)$$

Donde: τ es la tensión de corte (kg/m·s), μ es la viscosidad dinámica del fluido (kg/m·s) y $(\Delta v/\Delta y)$ es la gradiente de velocidad.

Se puede visualizar la interpretación física al revolver un fluido con una varilla. La acción de revolver hace que se cree un gradiente de viscosidad del fluido, se requiere una mayor fuerza para un aceite frío, que tiene una viscosidad mayor que la requerida para agua, cuya viscosidad es menor.

2.1.1. Ecuaciones que gobiernan el flujo

a. De la conservación de la masa

Uno de los conceptos fundamentales de la ciencia es que la masa es indestructible, es decir, no se crea ni se destruye. Este principio se llama ley universal de la conservación de la masa, y para un sistema cerrado o aislado se escribe así: *Masa = constante*.

Rolle (2006) señala que si el sistema es abierto, de modo que la masa pueda entrar o salir, el principio de conservación de la masa se escribe como sigue: $m_{ent} - m_{sal} = \Delta m_{sistema}$, donde m_{ent} es la masa que entra al sistema, m_{sal} es la masa que sale del sistema y $\Delta m_{sistema}$ es el cambio de masa del sistema.

b. Ecuación de continuidad

Para todo flujo, el caudal en una sección transversal se expresa por: $Q = V_1 A_1 = V_2 A_2$; donde V es la velocidad media y A es el área de la sección transversal del flujo, normal a la dirección del flujo, donde se indican diferentes secciones transversales, para un flujo continuo permanente (García, 2002).

c. Ecuación de la energía de Bernoulli

Mott (1996), sostiene que cuando se analizan problemas de flujo en conductos, existen tres formas de energía que siempre hay que tomar en consideración; la energía potencial,

energía cinética y la energía de flujo, a los fluidos sujetos a la acción de la gravedad, en movimiento permanente.

Así mismo menciona que un fluido real al desplazarse de una posición a otra deberá perder energía en dicho trayecto, por consiguiente, para un movimiento real, la ecuación de Bernoulli, en el caso de fluido incompresible se reduce a lo siguiente:

$$Z_1 + \frac{\rho_1}{\gamma} + \alpha \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{\rho_2}{\gamma} + \alpha \frac{V_2^2}{2g} + H_{1-2}$$

Donde: Z es la energía de posición o potencial (m), ρ_1/γ es la energía de presión o piezométrica (m), $\alpha V_1^2/2g$ es la energía cinética (m), α es el peso específico del agua (kg/m^3) y H_{1-2} es la pérdida de carga producido en el tramo de 1 a 2 (m).

Por su parte, López (2006) manifiesta que la línea piezométrica o gradiente hidráulica (línea inferior) es la línea que encierra a la energía de posición que tiene el flujo en ese momento, y la línea de energía (línea superior) implica además a la energía cinética por el movimiento que posee el sistema; en la Figura 1, es posible observar ambas líneas desde el punto 1 al punto 2.

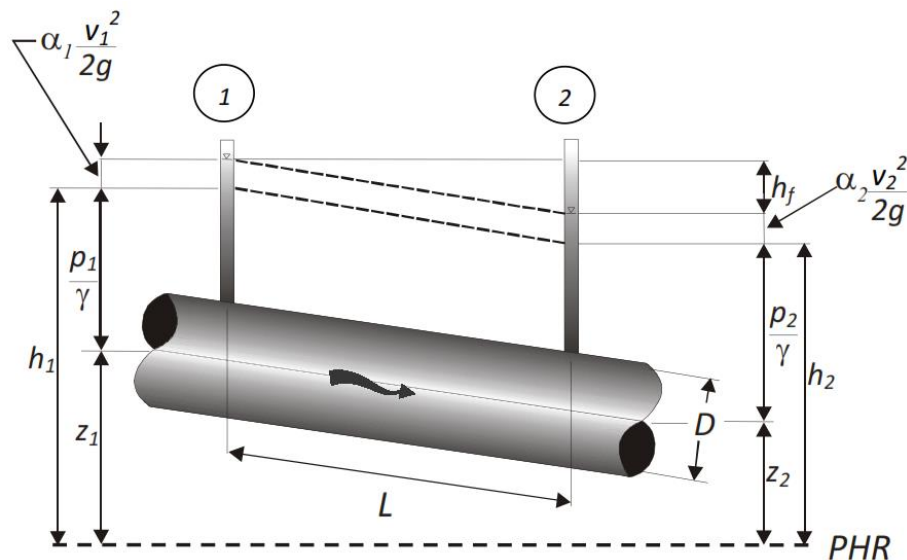


Figura 1: Energías de posición, presión y velocidad

Fuente: Rosales (2012)

d. Ecuación de la cantidad de movimiento

Agüera (2011), indica que cuando a lo largo de un volumen de control, la velocidad del flujo varía, es porque actúan fuerzas sobre él que lo aceleran: $\overline{\Sigma F} = m \cdot \vec{a}$. El impulso ($\overline{\Sigma F} * dt$) sobre la masa del volumen de control provocará una variación de su cantidad de movimiento $[d(m * \vec{V})]$: $\overline{\Sigma F} * dt = d(m * \vec{V}) = d\vec{p}$, esta variación $d\vec{p}$ del sistema corresponde al instante (t+dt), menos la que tenía en t, por ser régimen permanente: $\overline{\Sigma F} = m * (\vec{V}_2 - \vec{V}_1)$.

2.1.2. Ecuaciones de resistencia al flujo

López (2006) concluye que la selección del método del cálculo: Hazen -Williams o Darcy – Weisbach está íntimamente relacionada con la experiencia del proyectista y sus preferencias, así como también la adecuación al grado de aproximación buscado, la importancia de la obra, el lugar, altitud, temperaturas, etc. Lo importante es realizar una correcta elección de los modelos sin escatimar en gastos ni en tiempo de estudio, con el fin de llevar a la construcción y funcionamiento el mejor diseño posible teniendo siempre en cuenta que por más esfuerzos que se realicen siempre todos los diseños se basan en simulaciones de un mundo que todavía nos es imposible entender completamente.

a. La ecuación de Darcy - Weisbach

López (2006) revela que Weisbach propuso el uso del coeficiente adimensional f , mientras que Darcy llevó a cabo numerosos experimentos con flujo de agua. Esta ecuación tiene fundamentación física y proporciona una base racional para el análisis y cálculo de las pérdidas por fricción durante el movimiento de los fluidos en tuberías y se expresa así:

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

Donde: h_f es la pérdida de carga, L es la longitud de la tubería entre las secciones S1 y S2, V es la velocidad media del fluido (m/s), D es el diámetro de la tubería (m), f es el coeficiente de fricción = $f(\text{Re}, f, \epsilon/D)$, ϵ es el coeficiente de rugosidad absoluta y Re es el Reynolds. El valor de f se obtiene de la fórmula de Colebrook (aproximaciones sucesivas).

b. La ecuación de Hazen – Williams

La fórmula de Hazen – Williams es una de las más populares para el diseño y análisis de los sistemas de agua y tiene la ventaja de ser explícita para la velocidad. Resulta claro en

ella, que las pérdidas de altura por fricción son proporcionales a la velocidad media elevada a la potencia (Saldarriaga, 2007).

$$h_f = k f x L x \frac{Q^{1.852}}{C} x D^{-4.87}$$

Donde: h_f es la pérdida de carga debido a la fricción en la tubería (m), k es la constante de conversión (1.212×10^{12} unidades métricas), f es el factor de corrección, L es la longitud de la tubería (m), Q es el caudal en la tubería (litros/seg), C es el coeficiente de fricción que depende de la naturaleza del material y D es el diámetro de la tubería (mm).

Al respecto, López (2006) manifiesta que las experiencias realizadas por Gardner S. Williams y Allen Hazen se basaron en hallar un coeficiente, tal que, pueda expresar la rugosidad relativa de un material para condiciones normales de presión y temperatura, bajo flujo turbulento y en régimen permanente, dentro de una expresión que pueda deducir las pérdidas locales que suceden en tuberías de diámetro determinado y de gasto determinado también.

A continuación, en la Tabla 1 se observa los valores a considerar para los coeficientes de rugosidad que aparecen en las dos formulaciones clasificados según el tipo de tuberías.

Tabla 1: Coeficientes de rugosidad para tuberías según el tipo de material utilizando las fórmulas de Hazen – Williams y Darcy - Weisbach

Material	C Hazen - Williams (universal)	e Darcy - Weisbach (mm)
Fundición	130 - 140	0.26
Hormigón	120 - 140	0.3 - 3.0
Hierro Galvanizado	120	0.15
Plástico (PVC)	140 - 150	0.0015
Acero	140 - 150	0.045
Cerámica	110	0.3

Fuente: García (2006)

2.1.3. Red hidráulica de tuberías

Saldarriaga (2007) clasifica las redes de acuerdo con sus configuraciones básicas, en los siguientes tres tipos:

- Redes abiertas: se caracterizan por no tener ningún circuito cerrado en el sistema. Los ejemplos típicos de este grupo son las redes o tubos madres o líneas expresas en sistema

de distribución de agua potable o el sistema conformado por la tubería principal en un sistema de riego localizado de alta frecuencia.

- Redes cerradas: conocidas también como sistemas con circuitos cerrados o ciclos. Su característica primordial es tener algún tipo de circuito cerrado en el sistema. El objetivo es tener un sistema redundante de tuberías: cualquier zona dentro del área cubierta por el sistema puede ser alcanzada simultáneamente por más de una tubería. Este tipo de red que usualmente conforma el sistema de distribución de agua potable de una ciudad.
- Redes dendríticas: este tipo de redes se utiliza en los sistemas de riego a presión, en particular en los de riego localizado de alta frecuencia. Al igual que en las redes abiertas, las de riegos tampoco tienen circuitos cerrados, pero a diferencia de aquellas, las tuberías se bifurcan constantemente para cubrir todo el terreno que debe irrigarse.

2.1.4. Velocidad y clase en tuberías

Serrano (2009) sostiene que, si la velocidad del fluido que circula por una tubería es excesivamente elevada, las partículas en suspensión que se encuentran en el agua pueden ocasionar desgastes excesivos por erosión en el interior de la tubería, mientras que causa de velocidades muy bajas, estas pueden llegar a sedimentar en puntos bajos del tramo de tubería, obstruyendo el conducto sino es atendido. Por ello, la necesidad del límite en la velocidad para evitar grandes variaciones de presión por golpes de ariete, o para eliminar las vibraciones que acompañan a las grandes velocidades y producen desperfectos en las juntas, como se muestra la Tabla 2.

Tabla 2: Velocidades máximas y mínimas permisibles en tuberías según el material

Material de la tubería	Velocidad (m/s)	
	máx	mín
Concreto simple hasta 45 cm de diámetro	3.0	0.3
Concreto reforzado - 60 cm de diám. o mayores	3.5	0.3
Acero con revestimiento	5.0	0.3
Asbesto cemento	5.0	0.3
Hierro dúctil	5.0	0.3
Polietileno de alta densidad	5.0	0.3
PVC (policloruro de vinilo)	5.0	0.3

Fuente: Comisión Nacional del Agua (2007)

Al respecto, Patiño (2003) sostiene que las variaciones en los perfiles de la velocidad, debido al efecto del número de Reynolds y a la rugosidad en la pared de la tubería, pueden ser eliminadas usando el factor de calibración del perfil de velocidad. Se utiliza para corregir las diferencias entre el perfil actual de velocidad y el perfil supuesto en los cálculos del medidor de flujo.

Además, Agüero (1997) afirma que las clases en tuberías a seleccionar están definidas por las máximas presiones que ocurran en la línea, siendo representada por la línea de carga estática. Para la selección se debe considerar una tubería que resista la presión más elevada que pueda producirse, ya que la presión máxima no ocurre bajo condiciones de operación, sino cuando se presenta la presión estática.

Las tuberías y conexiones de policloruro de vinilo no plastificado (PVC-U) para el abastecimiento de agua deben cumplir la Norma Técnica Peruana NTP - ISO 4422-2. En la Tabla 3 y en el Anexo 2 se resume las características de los tubos de marca Gerfor para sistemas de abastecimiento de agua, donde los diámetros se especifican en milímetros y varían desde 63 mm hasta 630 mm en Clase 5, 7.5, 10 y 15, para una presión de trabajo de 5, 7.5, 10 y 15 bar respectivamente, con una longitud total de 6 m. Las uniones de las tuberías son mediante el uso de anillos de caucho especialmente diseñados para tal efecto.

Tabla 3: Diámetro, longitud y espesor según la clase del tubo (PVC-U) utilizados en el Sistema de Irrigación Pangoa

Diámetro Nominal (DN)	Diámetro Exterior (De)	Longitud		Clase 5		Clase 7.5		Clase 10		Clase 15	
		Tot	Útil	PN 5	Peso	PN 7.5	Peso	PN 10	Peso	PN 15	Peso
(mm)	(mm)	Lt (m)	Lu (m)	e (mm)	(kg.)	e (mm)	(kg.)	e (mm)	(kg.)	e (mm)	(kg.)
63	63	6	5.90	1.6	2.84	2.3	4.01	3.0	5.20	4.4	7.49
75	75	6	5.89	1.9	4.01	2.8	5.85	3.6	7.42	5.3	10.71
90	90	6	5.89	2.2	5.57	3.3	8.16	4.3	10.63	6.3	15.22
110	110	6	5.88	2.7	8.37	4.0	12.24	5.3	16.01	7.7	22.77
140	140	6	5.87	3.5	13.78	5.1	19.83	6.7	25.77	9.8	36.83
160	160	6	5.85	4.0	18.00	5.8	25.78	7.7	33.88	11.2	48.13
200	200	6	5.84	4.9	27.57	7.3	40.55	9.6	52.80	14.0	74.46
250	250	6	5.81	6.2	43.57	9.1	63.16	11.9	81.93	17.5	115.9
315	315	6	5.74	7.7	68.33	11.4	98.56	15.0	128.79	22.0	183.5
355	355	6	5.72	8.7	86.8	12.9	124.5	16.9	162.91	24.8	232.6
400	400	6	5.70	9.8	109.9	14.5	157.9	19.1	207.61	28.0	296
450	450	6	5.66	11	138.5	16.3	201.7	21.5	262.16	31.4	372.8
500	500	6	5.63	12.3	171.8	18.1	248.7	23.9	323.57	34.9	460.2
630	630	6	5.61	15.4	275.1	22.8	401.6	30.0	521.85	-	-

Fuente: Gerfor (2014)

2.2. MODELOS HIDRÁULICOS

Barrios (2016) define un modelo como una herramienta que permite entender el comportamiento de un sistema complejo y con la que es posible simular el comportamiento del sistema en diferentes situaciones hipotéticas y según la Comisión Nacional del Agua (2007), permiten realizar una clasificación de acuerdo con el objetivo o criterios que se establezcan:

Aplicabilidad: de acuerdo con el grado de aplicación, los modelos se pueden clasificar como planificación, operacionales y de diseño.

- Modelos de planificación: Se utilizan para evaluar el rendimiento, los impactos económicos o cuantitativos de sistemas propuestos de tuberías, cambios en procedimientos operativos y comportamiento de distintos elementos, como válvulas de control, tanques, etc.
- Modelos operacionales: Se emplean para predecir el comportamiento hidráulico de variables como la presión y caudales en la red, así como modificar niveles en tanques de regulación. El objetivo es tener un mejor soporte en la toma de decisiones.

Grado de detalle: en nuestro país, este resulta un aspecto de importancia, esto se debe porque en ocasiones se realizan trabajos que no requieren de un nivel de detalle amplio, como en decisiones de planeación.

- Modelos estratégicos o arteriales: estos modelos como instrumento de planeación, sólo incorporan elementos primordiales como: tuberías primarias, reservorios, tanques de almacenamiento y regulación.
- Modelos detallados: normalmente para cubrir las necesidades de regulación y control de los sistemas de distribución se requiere de un modelo estratégico, sin embargo, en ocasiones se necesita de un nivel de detalle mayor. Este tipo de modelos llegan a incluir las tuberías secundarias y en ocasiones hasta las tomas domiciliarias.

Variación en el tiempo: el tiempo es una variable fundamental en la modelación de redes de agua potable, existen: estáticos y dinámicos.

- Estáticos o de flujo permanente: los caudales demandados e inyectados permanecen constantes, no existen variaciones en la operación de la red y el nivel en los tanques es

fijo. Se emplean frecuentemente para analizar el comportamiento de la red con los caudales máximos horarios, y así someterlas a las condiciones más desfavorables.

- Dinámicos o de flujo no permanente: a diferencia de los modelos estáticos, en los modelos de tipo dinámico permiten la variación temporal de: caudales demandados e inyectados, condiciones operativas de la red y niveles en los tanques, bajo la restricción de simular la evolución temporal de la red en un intervalo determinado.

2.2.1. Watercad

García (2006) indica que un modelo Watercad está constituido por tuberías, nodos (conexiones entre tuberías), válvulas, cámaras rompe-presión, depósitos de almacenamiento o embalses para luego efectuar un seguimiento de la evolución de los caudales en las tuberías, las presiones en los nodos, los niveles en los depósitos y pérdidas de carga en cada tramo. Anzures (2015) explica que antes de realizar modificaciones a los parámetros de entrada del modelo, es necesario determinar si la discrepancia entre los resultados del modelo y los datos de campo se debe a anomalías de la red o a datos de entrada del modelo imprecisos.

Por ello, es necesario tener en claro las características más importantes de un modelo hidráulico: (i) no existe límite en el tamaño de la red que se desea analizar; (ii) calcula las pérdidas por fricción en las conducciones mediante las expresiones de Hazen - Williams o Darcy – Weisbach; (iii) incluye pérdidas menores en elementos tales como codos, acoplamientos; (iv) modela diferentes tipos de válvulas, incluyendo válvulas de regulación, válvulas reductoras de presión, válvulas de control de caudal; (v) puede determinar el funcionamiento del sistema simplemente con el nivel de agua en el tanque, considerando al sistema como permanente. De este modo, las hipótesis simplificadoras serán las siguientes:

a. Hipótesis referentes al flujo

- Flujo unidimensional en el sentido del eje de la conducción.
- Invariabilidad temporal de las variables relacionadas al flujo.
- Distribución uniforme de velocidad y presión en secciones transversales al eje del conducto.

b. Hipótesis referentes al fluido

- Fluido incompresible.
- Homogéneo (fluido de características uniformes).

- Newtoniano (satisface la ley de viscosidad de Newton).

c. Hipótesis referentes a las conducciones

- Homogeneidad y constancia en material, sección transversal y espesor.

2.3. CAUDALÍMETRO ULTRASÓNICO PARA TUBERÍAS

Bourguett (2000) manifiesta que, dentro de cualquier sistema hidráulico, el conocimiento del caudal que pasa por determinado tramo de tubería es de primordial importancia, particularmente para efectos de administración y control de las cantidades de agua que maneja el sistema. Así mismo, Alcober (1999) sostiene que la medida de caudal no intrusiva y de fácil instalación de los sensores siempre ha sido una idea atractiva por las obvias ventajas que aporta. En consecuencia, la tecnología que se ha desarrollado en ultrasonidos ofrece hoy en día, estas posibilidades para un buen número de aplicaciones.

Es así como, Patiño (2003) concluye que los sistemas ultrasónicos se presentan como una excelente alternativa de medición en aquellos casos en que no sea posible el uso de sistemas y/o técnicas tradicionales de aforo, debido a las propiedades físico - químicas del agua, características de la infraestructura o, debido a necesidades técnicas de precisión y manejo de la información recabada. Para ello, es indispensable conocer el principio de operación que emplean estos sistemas electrónicos durante su funcionamiento.

2.3.1. Caudalímetro ultrasónico de tiempo de tránsito

El caudalímetro opera alternativamente, emitiendo o recibiendo, una ráfaga sonora de frecuencia modulada entre los dos transductores y midiendo el tiempo de tránsito que le toma al sonido viajar entre ambos transductores en ambos sentidos, como se muestra en la Figura 2. Utiliza dos transductores, ambos funcionan como transmisores y receptores de los ultrasonidos, la diferencia en el tiempo medido está directamente relacionada con la velocidad del fluido en el conducto, tal y como se establece en la ecuación b (PCE Instruments, 2016) vista en adelante.

Al respecto, Patiño (2003) describe los componentes de un caudalímetro por ultrasonido, de la siguiente manera. (i) Dispositivo primario, que consta de las abrazaderas, carrete y los transductores montados a la sección de medición elegida; estos sensores van unidos a la parte externa de la tubería con ayuda de cinchos, debiendo ser colocadas entre la pared de la tubería y el transductor, una grasa especial que facilita la transmisión acústica a través de las paredes del tubo. (ii) Sección de medición, que se refiere a la sección transversal de la tubería donde

se requiere conocer el gasto que circula por la misma. (iii) Dispositivo secundario, contiene los componentes electrónicos necesarios para operar los transductores, almacenar la información y procesar los datos recabados por los sensores de medición. La mayoría de los sistemas de medición de tipo ultrasónico tienen salidas analógicas y digitales, lo que permite que la señal pueda ser almacenada en un datalogger.

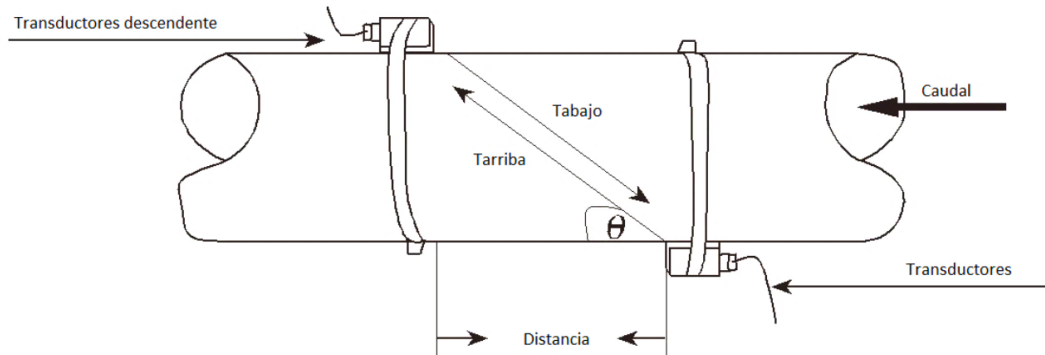


Figura 2: Vista superior del principio de medición del caudalímetro ultrasónico de Tiempo de tránsito

Fuente: PCE Instruments (2016)

$$V = \frac{MD}{\sin 2\theta} \times \frac{\Delta T}{T_{UP} * T_{down}} \dots (b)$$

Donde: θ es el ángulo de la dirección del caudal, M es el número de desplazamientos del rayo de ultrasonido, D es el diámetro de la tubería, T_{UP} es el tiempo de recorrido del haz ultrasónico desde el transductor superior al transductor inferior, T_{down} es el tiempo de recorrido del haz ultrasónico desde el transductor inferior al transductor superior T_{Δ} es igual a $T_{UP} - T_{down}$.

2.3.2. Criterios de selección

Patiño (2003) sostiene que hay dos tipos de medidores ultrasónicos que son empleados para medir el gasto en conductos a presión. El primero de ellos, denominado tiempo en tránsito (Transit – Time), emplea señales acústicas mediante la transmisión de pulsos; por otro lado, el de efecto Doppler emplea la transmisión de una onda continua. Estos dos tipos de medidores pueden ser considerados como complementarios, más que competitivos. Los medidores de tiempo en tránsito han recibido una mayor aceptación en los últimos años, siendo así desarrollados prototipos con un menor costo y mayor precisión que los de efecto Doppler, que requieren de una alta presencia de partículas en suspensión, pudiendo ser estos sólidos o burbujas, que son necesariamente para reflejar la señal acústica emitida por el transductor.

Ahora bien, entre los parámetros, condiciones y factores a considerar, están: cantidad de sólidos en suspensión, rango de caudales a cubrir, precisión requerida, repetibilidad requerida, tipo de transductor, ambiente en que realizará la medición, tipo de salida eléctrica requerida, presupuesto (debe considerarse no sólo el costo del instrumento), tipo de fluido a medir, velocidad, fuente de energía (LabSen, 2007).

2.3.3. Requerimientos de instalación física

Patiño (2003) indica que la mayoría de errores que se presentan en la medición del gasto en conductos a presión son debidos a una mala selección física de la selección de medición, así como una inadecuada selección, colocación y operación del sistema de medición. Por ello, a continuación se mencionan los requerimientos que se deben cuidar durante la instalación de un sistema ultrasónico, así como los posibles errores que pueden presentarse en caso de no tomarlos en cuenta.

Asu vez, Palau (2005) afirma que existe multitud de factores que pueden afectar y originar ciertas discrepancias entre el valor real de la variable observada y la lectura de los instrumentos. Entre los factores que afectan el error de medida son los que causan errores sistemáticos y los que originan errores aleatorios. Por ejemplo, tener un perfil de velocidades distorsionado, mal funcionamiento del sensor, rango de funcionamiento inadecuado, mala instalación, calidad del agua y variación en la sección nominal de la conducción, son errores sistemáticos. Por las características comentadas los errores sistemáticos se pueden eliminar mediante la calibración de los instrumentos. Esta calibración debe llevarse a cabo en campo si se sospecha que el origen del error sistemático es la propia instalación o en laboratorio, en caso de tener cierta seguridad de que el causante de los errores es el instrumento en sí.

a. Obtención de la señal acústica y selección transversal de medición

Patiño (2003) recomienda que, al seleccionar el sitio de medición se debe tener especial cuidado en que no existan fuentes cercanas que introduzcan ruido acústico que afecte el proceso de obtención de la señal. Estos ruidos pueden provenir de vibraciones mecánicas y otros dispositivos eléctricos.

De igual forma, es necesario revisar con cuidado que la sección transversal de medición no se encuentre alterada, afectando con esto el cálculo del área hidráulica. Esta alteración en su forma puede ser debido a condiciones de temperatura, presión, inadecuada selección del tipo de material a emplear en la tubería y la mala calidad del mismo, así como la adhesión

de sólidos a las paredes del conducto, entre otros. Por ello, tener en cuenta la suciedad de la tubería; sino le resulta satisfactoria, considere el grosor de la suciedad como parte del revestimiento para un resultado mejor.

b. Selección de la localización de medición

PCE Ibérica (2016) señala que, el primer paso para el proceso de instalación es la selección de una localización óptima para obtener una medición más precisa; una localización óptima se definirá como una tubería recta llena de líquido. Por lo tanto, una mala selección puede ubicar en una zona de flujo turbulento, causada típicamente por válvulas, codos o transiciones, en la Figura 3 muestra ejemplos de una correcta posición.

Configuración de tubería	Diámetros	
	aguas arriba	aguas abajo
	A	B
	30	5
	15	5
	10	5
	10	5
	10	5
	30	5

Figura 3: Correcta posición del transductor sobre la tubería en función de la configuración de la tubería y el diámetro

Fuente: PCE Ibérica (2016)

c. Instalación de los transductores

La medición se realiza al medir la diferencia entre el tiempo de recorrido de las señales ultrasónicas. Debido a que la diferencia es muy pequeña, el espacio y la alineación de los

transductores son factores críticos para la precisión de la medición y el funcionamiento del sistema, tal como se observa en la Figura 4 (PCE Instruments, 2016). Antes de montar los transductores es preciso configurar: tipo de configuración del transductor, espesor de la tubería, material y espesor del revestimiento (si corresponde), tipo de fluido, diámetro externo de la tubería, material de tubería.

Respecto al tipo de configuración del transductor, es necesario definir el método de instalación de los transductores que está en función del diámetro de la tubería que se pretende medir, entre los cuales están: método V para tuberías cuyo diámetro interior van desde los 20 mm hasta los 300 mm, método Z entre 300 y 500 mm y método W de 10 hasta 100 mm.

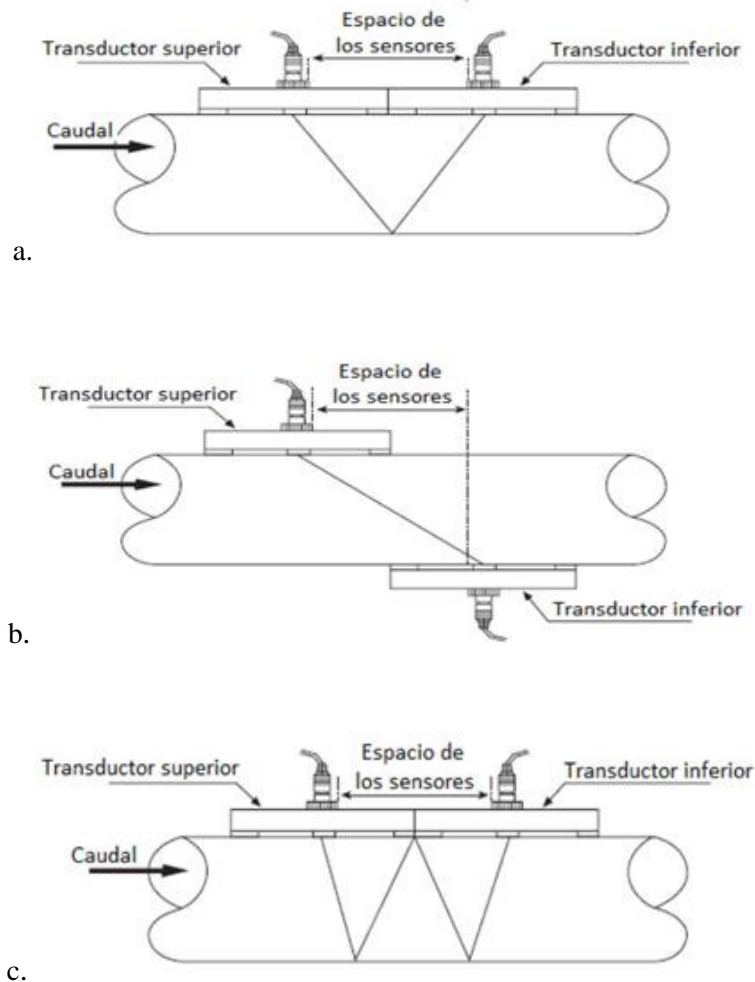


Figura 4: Instalación de transductores en la tubería en función del diámetro: método V (a), método Z (b) y método W (c) - vista superior de la tubería

Fuente: PCE Ibérica (2016)

2.3.4. Ventajas y desventajas

Bourguett (2000) determinó las principales ventajas y limitaciones del equipo, entre las cuales son: (i) alta precisión, del 0.5 por ciento al 4.0 por ciento; (ii) capacidad de medir el flujo en dos direcciones para la medición del flujo; (iii) el costo del equipo es independiente del diámetro del conducto donde se instale; (iv) fácil transporte para una instalación rápida y sencilla en cualquier tipo de tubería; y (v) equipo no intrusivo, es decir, no es necesario que los transductores estén en contacto con el flujo, lo cual facilita los trabajos en campo y las acciones de verificación.

Como todo instrumento de medición los equipos ultrasónicos tienen limitaciones con respecto a otros equipos de medición de caudal, entre las cuales tenemos: (i) costo inicial es alto, (ii) requiere de técnicos especializados para su servicio de mantenimiento, (iii) debe ser programado para cada tubería, material, diámetro y espesor de pared, y (iv) disminuye su precisión en presencia de un alto contenido de sólidos en suspensión.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se ubica políticamente en el distrito de San Martín de Pangoa, provincia de Satipo, en la región Junín, donde drenan los ríos Sonomoro, Anapati, Saureni, Potsoteni, Chavini y San Ramón considerados como tributarios del río Ene e hidrográficamente en la microcuenca San Ramón de la cuenca Perené. En la Figura 5 se muestra la ubicación de la zona de estudio.

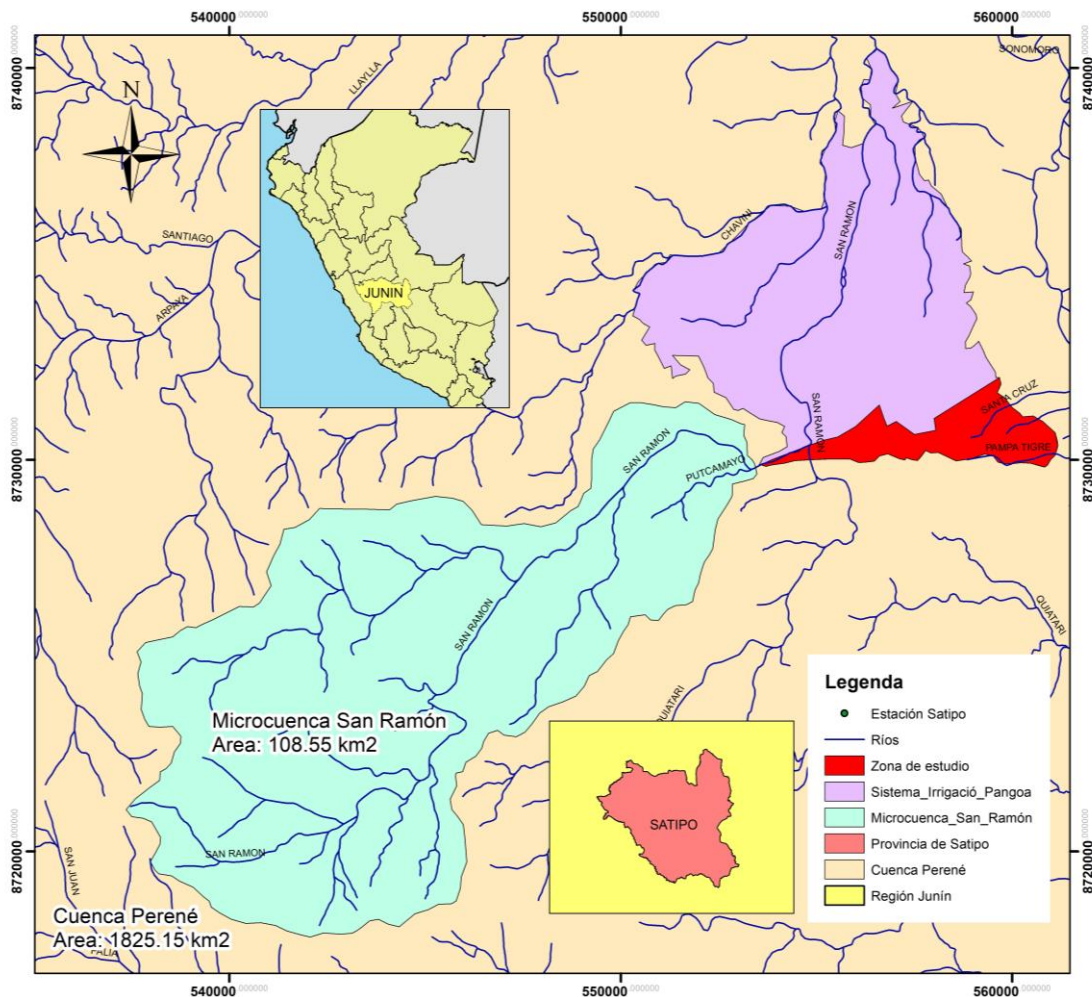


Figura 5: Ubicación general de la zona de estudio dentro del Sistema de Irrigación Pangoa en la microcuenca San Ramón de la cuenca Perené en la provincia de Satipo, región Junín.

Fuente: Elaborado con información del Proyecto Especial Pichis Palcazú (2016)

El recurso captado del río San Ramón es conducido a través del canal San Ramón, que tiene la finalidad de distribuir $1.35 \text{ m}^3/\text{s}$ destinadas al riego de 2,495 hectáreas, el cual empalma con cuatro subtruncales denominados: Subtronal 2, 3, 4 y 5, como se observa en la Figura 6. El Subtronal 3 consta de 9.3 kilómetros de tuberías de PVC - U instaladas, con diámetros que varían desde 500 mm hasta 200 mm, 18 válvulas hidrante de hierro fundido dúctil y 3 cámaras rompe-presión, para el riego de 482.6 hectáreas netas entre los sectores de Villa María y Pampa Tigre, como se muestra en la Figura 7.

3.1.1. Climatología

Los factores del clima, principalmente la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar y el viento tienen un impacto sobre el consumo de agua por los cultivos. Por este motivo, las variaciones de dichos factores climáticos afectan también el régimen de riego de los cultivos. La información meteorológica de la estación Satipo, considerada como representativa de la zona de estudio, se muestra la Tabla 4.

Tabla 4: Información meteorológica disponible de la Estación Satipo para el período 1964-1982 y 1991-2009

Característica	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	total/media
Precipitación total mensual (mm)	287.0	260.7	260.2	138.8	96.2	77.4	62.5	97.4	120.6	179.6	173.0	230.6	1984.2
Temperatura media mensual (°C)	24.9	24.7	24.9	24.9	24.6	24.0	23.6	24.0	24.6	25.1	25.3	25.0	24.6
Temperatura mínima media mensual (°C)	17.9	18.2	18.2	17.7	16.9	16.0	15.1	15.6	16.2	17.5	18.4	18.5	17.7
Temperatura máxima media mensual (°C)	32.3	32.2	32.6	33.4	33.1	32.5	32.3	33.0	33.4	33.6	33.4	32.6	32.7
Humedad relativa media mensual (%)	81.9	82.2	81.8	81.1	81.3	81.2	80.1	79.0	78.7	79.1	79.7	81.0	80.4
Evaporación total mensual (%)	41.4	36.9	39.8	44.7	44.1	41.7	45.3	44.9	48.3	45.8	44.7	41.3	535.3

Fuente: Elaborado con información del SENAMHI (2009)

En la estación de verano, las lluvias son copiosas y frecuentes durante los meses de diciembre a marzo. El clima en esta latitud del valle de San Martín de Pangoa es característico de las zonas tropicales, la humedad relativa es alta debido a la alta evaporación de los suelos y la transpiración de la vegetación a consecuencia de la alta temperatura.

3.1.2. Hidrología

El río San Ramón no dispone de estaciones hidrométricas para poder determinar los recursos superficiales, sin embargo, solamente se ha considerado la estación Satipo como representativa de la zona, por considerarse la más cercana. El río San Ramón es un tributario por la margen izquierda del río Sonomoro, luego de recibir las aguas de los ríos Mazamari y Satipo, por la margen izquierda.

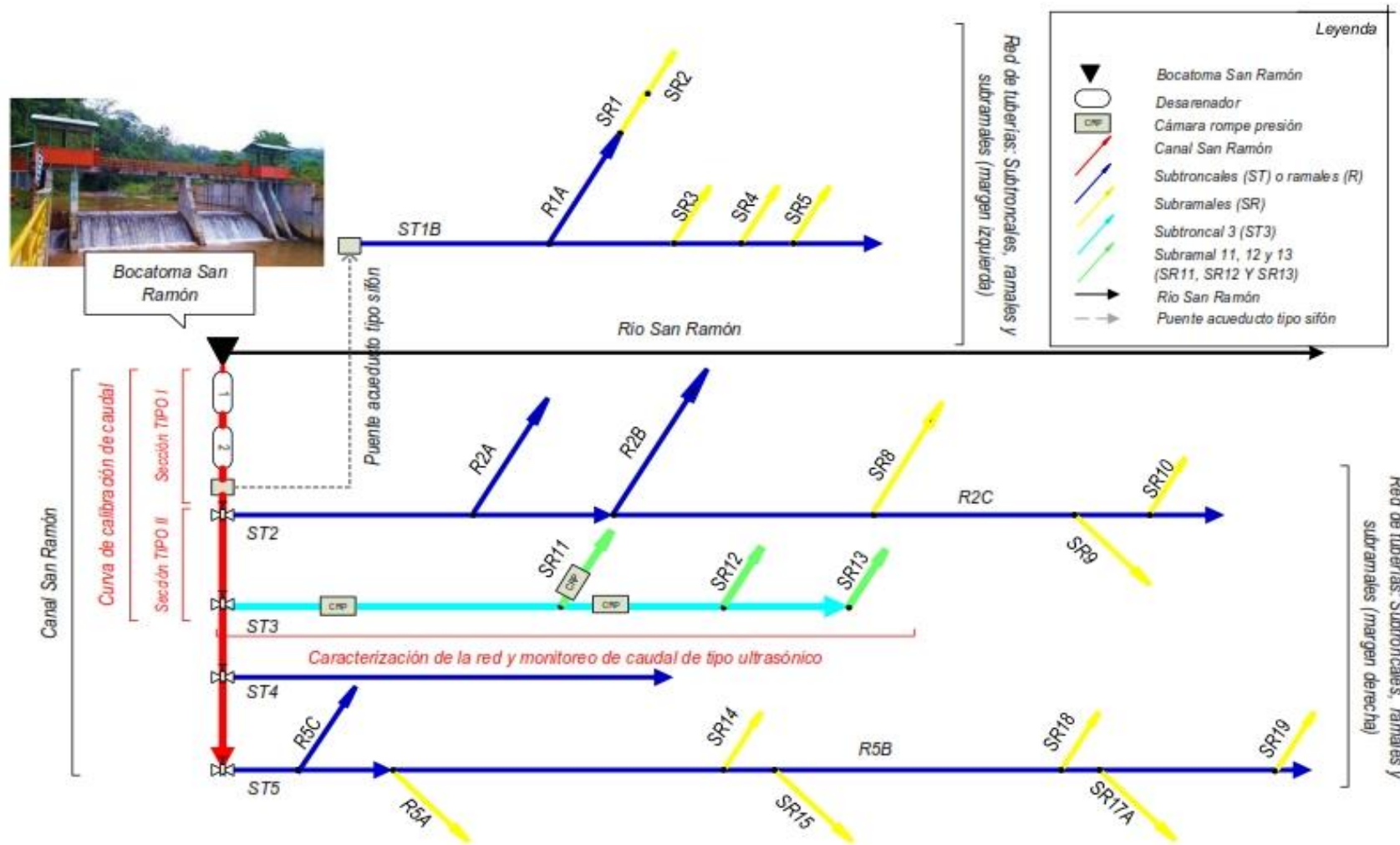


Figura 6: Esquema hidráulico del Sistema de Irrigación Pangoa y decodificación de los subtruncales, ramales y subramales que comprenden el Subsistema San Ramón derecho e izquierdo que tiene como fuente de agua el río San Ramón

Fuente: Elaborado con información del Proyecto Especial Pichis Palcazú (2016)

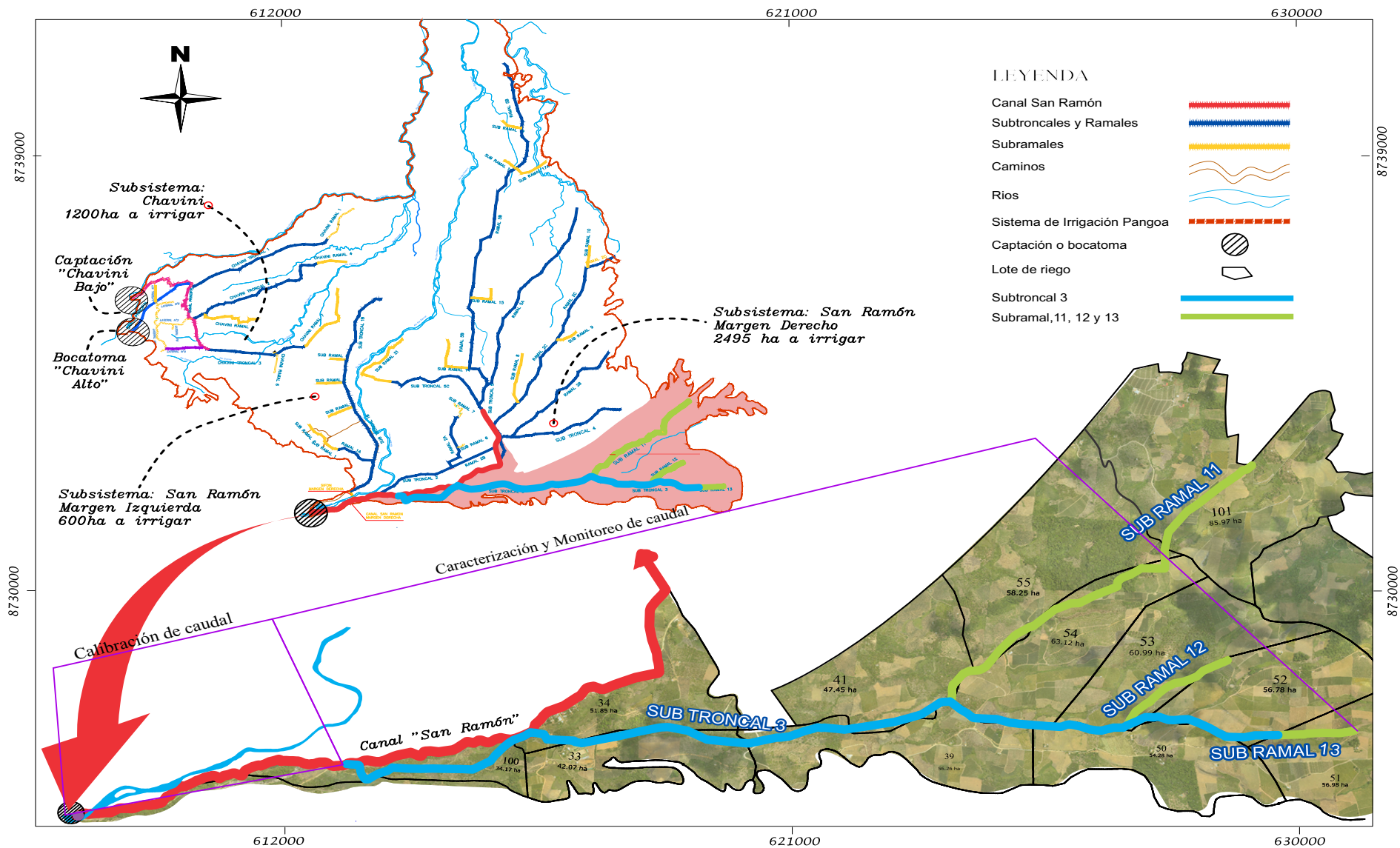


Figura 7: Esquema hidráulico del sistema de Irrigación Pangoa y detalles del canal San Ramón que empalma con el Subtruncal 3

Fuente: Elaborado con información del Proyecto Especial Pichis Palcazú (2016)

3.1.3. Calidad del agua

Un buen funcionamiento de los sistemas ultrasónicos de tiempo de tránsito está ligado principalmente a las propiedades fisicoquímicas del agua, específicamente a la temperatura (<160 °C) y la cantidad de sólidos totales en suspensión (<50 ppm) del agua. Se evaluó el pH, la conductividad eléctrica, la turbidez y los sólidos totales en suspensión del agua del río San Ramón; el análisis realizado en mayo y octubre del 2017, se obtuvo que los resultados cumplen con la norma para uso potable (R.D. 339 - 87 - ITINTEC - D6 87-06-22) y agrícola (CE-CCA-001/89), como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5: Valores de la calidad del agua del río San Ramón y valores máximos recomendables

Característica Físico-Química	Muestra		Norma recomendable	
	May - 17*	Oct - 17*	Valor	Detalle de la norma
pH	6.89	6.88	6.5 - 8.5	R.D. 339 - 87 - ITINTEC - D6 87-06-22 (uso potable)
Conductividad eléctrica (ds/m)	0.08	0.05	1	CE-CCA-001/89 (uso riego agrícola)
Turbidez (NTU)	3.38	17.4	3 - 5	R.D. 339 - 87 - ITINTEC - D6 87-06-22 (uso potable)
Sólidos totales en suspensión (ppm)	3.18	16.0	50	CE-CCA-001/89 (uso riego agrícola)

* Ver anexo 1

Fuente: Elaborado con información del Proyecto Especial Pichis Palcazú (2016)

3.1.4. Geología y fisiografía

La forma estructural del terreno es de una colina no muy pronunciada, los estratos están claramente divididos, debido a la meteorización de las rocas del tipo metamórfico que se encontraban hace muchos millones de años geológicos en áreas cercanas, las cuales fueron transportadas por factores pluviales y eólicos. Se distinguen dos regiones fisiográficas: en los primeros seis kilómetros entre las cotas 1,000 msnm y 700 msnm, el valle denominado “Valle alto” presenta un ancho medio de siete kilómetros; mientras que en los últimos seis kilómetros, denominado “Valle bajo” presenta un ancho medio de dos kilómetros. El área de estudio está caracterizada por una geoforma dominante con relieve abrupto y encañonado en las partes altas, luego un relieve ondulado y con una topografía menos accidentada.

3.2. SISTEMA DE IRRIGACIÓN PANGO

Las obras de infraestructura mayor han sido concebidas para aprovechar el potencial hídrico del río San Ramón, estas permiten captar las aguas, conducir las, desarenarlas, decantarlas y distribuir las de forma presurizada a cada lote a través de una red de tuberías en un sistema de troncales principales y secundarios con una longitud aproximada de 71.4 kilómetros de tubería instalada, con sus respectivas obras de arte y caminos de vigilancia para su mantenimiento. Su infraestructura principal está constituida así:

a. Bocatoma San Ramón

Ubicada sobre el río San Ramón y diseñada para un caudal de $250 \text{ m}^3/\text{s}$, con un sistema mixto de barraje fijo y móvil, constituida por muros de encauzamiento en ambas márgenes, dos ventanas de captación en la margen derecha con compuertas deslizantes, además de estructuras hidráulicas para captar el mínimo de sólidos y disponer de medios apropiados para su evacuación al río.

b. Canal San Ramón

Con capacidad de $1.35 \text{ m}^3/\text{s}$, de 5.03 kilómetros de longitud para irrigar 2,495 hectáreas, simultáneamente cuenta con cuatro tomas laterales cada cierta longitud para el empalme con los respectivos subtruncales, además cuenta con obras de arte para su óptimo funcionamiento. Según Díaz (2014), en el estudio “El diseño hidráulico de los subtruncales y ramales para el subsistema San Ramón derecho e izquierdo”, respecto al Subtronal 3, esta se encuentra dimensionada para un caudal inicial de 280 litros/seg. A partir de ello, es necesario garantizar la conducción de dicho caudal por el canal.

c. Red de distribución

La línea de conducción de un sistema de abastecimiento de agua es el conjunto de tuberías, válvulas, accesorios, estructuras y obras de arte encargados de la conducción de agua desde la captación hasta el punto de entrega en cada unidad de riego, gracias a la carga estática existente que normalmente sigue el perfil del terreno.

d. Cámara de válvula de aire

El aire acumulado en los puntos altos provoca la reducción del área de flujo de agua, produciendo un aumento en la pérdida de carga y una disminución en el gasto. Para evitar esta acumulación se instalaron válvulas de aire de triple función, diseñadas para la admisión o expulsión de aire en grandes volúmenes durante el llenado o vaciado, además cuenta con un purgador de aire para eliminar las burbujas que se acumulen y que por su volumen no pueden ser expulsadas por el conducto principal, como se muestra en la Figura 8.

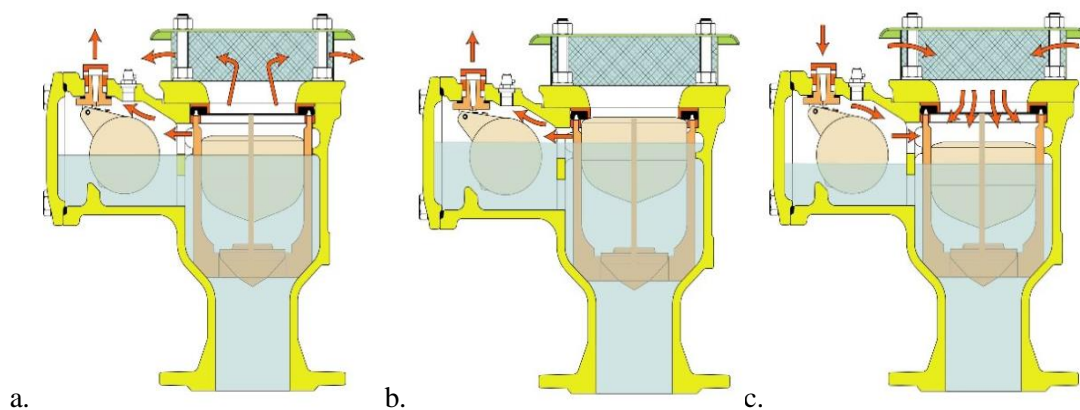


Figura 8: Válvula de aire triple función con llenado de canalización (a), con desgasificación en presión (b) y con vaciado (c)

Fuente: Saint - Gobain PAM (2006)

e. Cámara de válvula de purga

Los sedimentos acumulados en los puntos bajos de la línea de conducción con topografía accidentada, provocan la reducción del área del flujo, para ello se instalaron válvulas de hierro fundido dúctil (HFD) con terminales tipo embone para tubería de PVC-U, donde la presión nominal (PN) de trabajo es de 16 bar. A fin de permitir periódicamente la limpieza de los tramos de tuberías.

f. Cámara de válvula de hidrante

El proyecto contempla hidrantes en las cabeceras de cada unidad de riego, que en su debido momento los propietarios enlazarán a sus respectivos cabezales de riego. Para el subsistema San Ramón margen derecho se han considerado 75 hidrantes. Instalando válvulas de hierro fundido dúctil con terminales tipo brida - brida para tubería de PVC-U (Anexo 3), donde la presión nominal de trabajo es de 16 bar equivalentes a 160 m.c.a.

g. Cámara rompe-presión

Cuando existe mucho desnivel entre la captación y algunos puntos a lo largo de la línea de conducción, pueden generarse presiones superiores a la máxima que puede soportar una tubería. En esta situación es necesaria la construcción de cámaras rompe – presión que permitan disipar la energía y reducir la presión relativa a cero (presión atmosférica), con la finalidad de evitar daños en las tuberías. Estas estructuras permiten utilizar tuberías de menor clase, reduciendo considerablemente los costos en las obras de abastecimiento de agua.

3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

Para desarrollar el presente trabajo ha sido necesario el apoyo de materiales, equipos y ciertos programas de cómputo detallados en la Tabla 6.

Tabla 6: Resumen de materiales, equipos y herramientas computacionales utilizados en la investigación

Detalle	Uso
02 Und. Tuberías de PVC-U DN 160 mm x 6.0m PN 7.5 (Marca Gerfor)	
01 Und. Tubería de PVC-U DN 200 mm x 6.0m PN 5.0 (Marca Gerfor)	
01 Und. Caudalímetro Ultrasónico T-Measurement TDS-100H	
06 Und. Planchas de acero 1.0 m x 3.0 m x 3.0 m	
20 Und. Varillas de acero de 1/2" y 3/8"	Construcción de tanque de pruebas para calibración de equipo ultrasónico
15 Und. Parantes de madera 2.5 m x 0.1 m x 0.5 m	
25 Und. Varillas para soldadura	
01 Und. Cilindro de metal (0.60 m x 0.87 m)	
01 Und. Nivel de ingeniero y mira topográfica	
01 Und. Cronómetro	
01 Und. Adaptador escamado de manga a PVC (8" a 160 mm)	
01 Und. Manga azul de 8"	
01 Und. Correntómetro Global Water- tipo hélice	
01 Und. Wincha de 5 m	
04 Und. Pala/pico	Curva de calibración de caudal en el canal San Ramón (Sección I , Sección II)
01 Und. Plano topográfico del canal San Ramón	
01 Und. Libreta de notas	
01 Und. Caudalímetro Ultrasonico T-Measurement TDS-100H	Monitoreo de caudal de tipo ultrasónico
01 Und. Plano topografico de la Subtronal 3	
01 Pote de grasa de litio	
01 Und. Plano topográfico de la Subtronal 3	Caracterización de la red hidráulica
Software de simulación hidráulica: Watercad Vi8	
Software de dibujo: AutoCAD Civil 3D	

3.4. PROCEDIMIENTO

Con la finalidad de alcanzar el objetivo propuesto, se describe en la Figura 9 el procedimiento metodológico que se siguió.

Recopilación de información primaria y secundaria

Calibración y caracterización

Evaluación de la red hidráulica

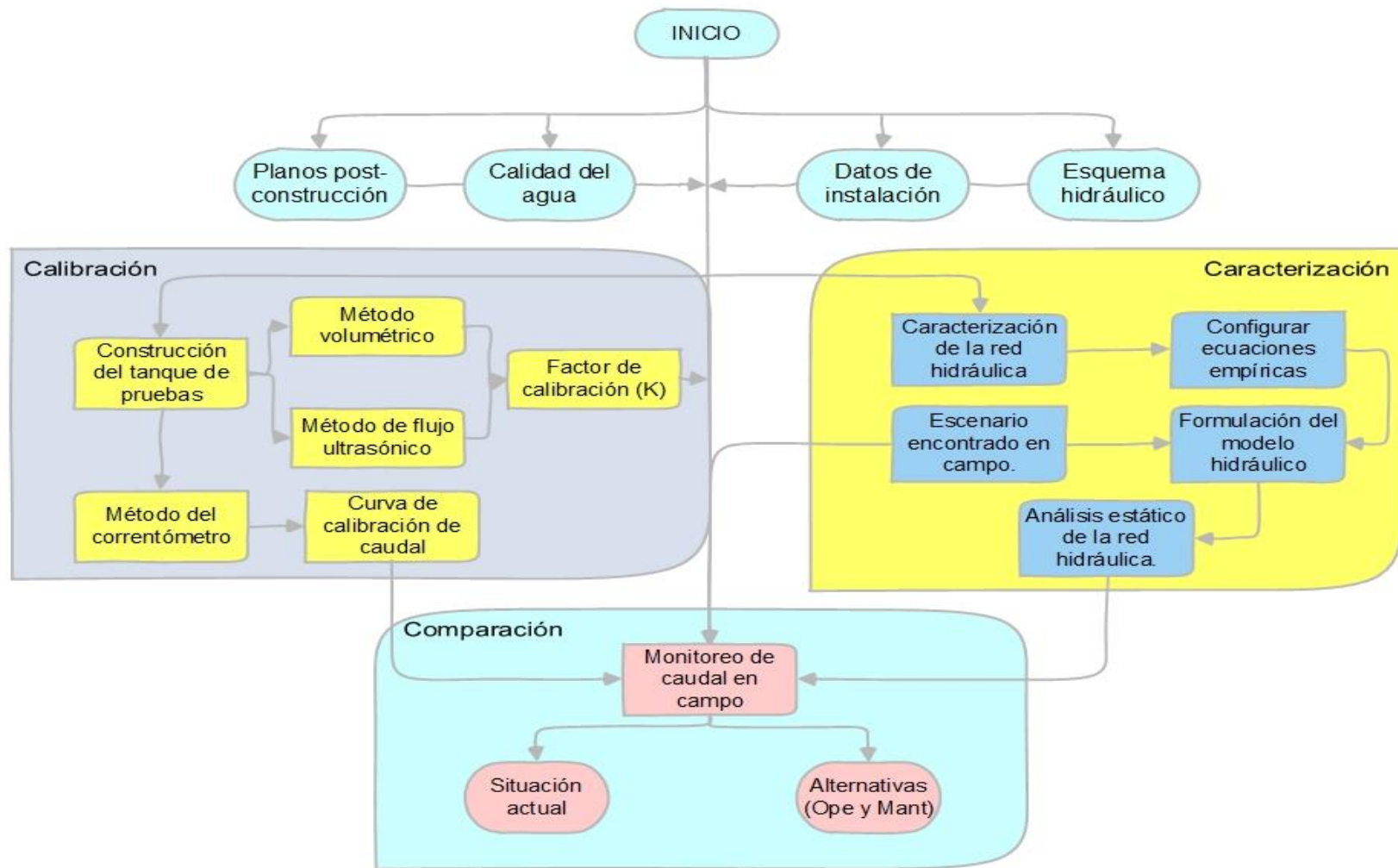


Figura 9: Diagrama de flujo de la metodología empleada en el estudio

Fuente: Elaboración propia (2016)

3.4.1. Calibración del equipo ultrasónico de tiempo de tránsito

Para asegurar la alta calidad de las mediciones efectuadas con el equipo ultrasonido se plantea la contrastación en un banco que reproduce las condiciones físicas a que está sometido el macromedidor cuando está instalado en campo y el certificado de calibración no pasa de ser un certificado para las condiciones existentes en dicho laboratorio y no para las condiciones físicas de campo, en ese sentido se creó la necesidad de asegurar la precisión de las mediciones efectuadas.

La calibración del equipo ultrasónico consistió en primer lugar en obtener el factor de escala o calibración del equipo mediante la implementación del tanque de pruebas. Este simula el comportamiento del fluido a través de las tuberías, con la finalidad de obtener el factor de relación entre el caudal actual y el valor indicado por el equipo, debido a la discrepancia entre el valor medido y el valor verdadero, el cual es específico para el tipo de material de la tubería, la calidad de agua, la cantidad de partículas en suspensión y las condiciones del medio.

Debido a la falta de estructuras de aforo, para garantizar el ingreso de 280 litros/seg, requerido en el diseño agronómico para el Subtronal 3 definido en el estudio “Diseño hidráulico de las troncales y ramales del canal San Ramón margen derecha – Sistema de Irrigación Pangoa” (Anexo 4), fue necesario obtener la curva de calibración de caudal para el canal San Ramón, el cual otorgó información respecto a la altura de lámina de agua necesaria que garantice el caudal de ingreso hacia la red de tuberías. Finalmente, con el equipo calibrado y con la demanda garantizada, se procedió a monitorear los caudales en el Subtronal 3 del subsistema San Ramón.

a. Implementación del tanque de pruebas

Con la implementación del tanque de pruebas se buscó crear un volumen de reserva de agua, aquietando el flujo y garantizando la sumergencia del sistema de conducción forzada a presión, manteniendo una altura de agua suficiente que evite a toda costa la entrada de aire al sistema y asimismo, poder decantar arenas y partículas sólidas. Conjuntamente la adopción de una velocidad baja en la tubería a presión y el aumento de la profundidad de la salida ayuda a prevenir la formación de vórtices que arrastre aire hacia las tuberías.

El tanque de pruebas fue construido de metal soldado para evitar las sobrepresiones en la conducción forzada, además de facilitar la movilidad y disminuir el gasto en la implementación. Fue diseñado con tres vías de movimiento de fluido: la primera, es la

acometida por donde ingresa el conducto que trae el agua desde la toma ($\varnothing = 0.2$ m); la segunda es un vertedero o rebose para eliminar los excedentes de volumen ($\varnothing = 0.2$ m), que impide que rebalse el tanque y; la tercera, es la alimentación mediante una tubería de presión que conduce el agua ($\varnothing = 0.19$ m), como muestra la Figura 10.

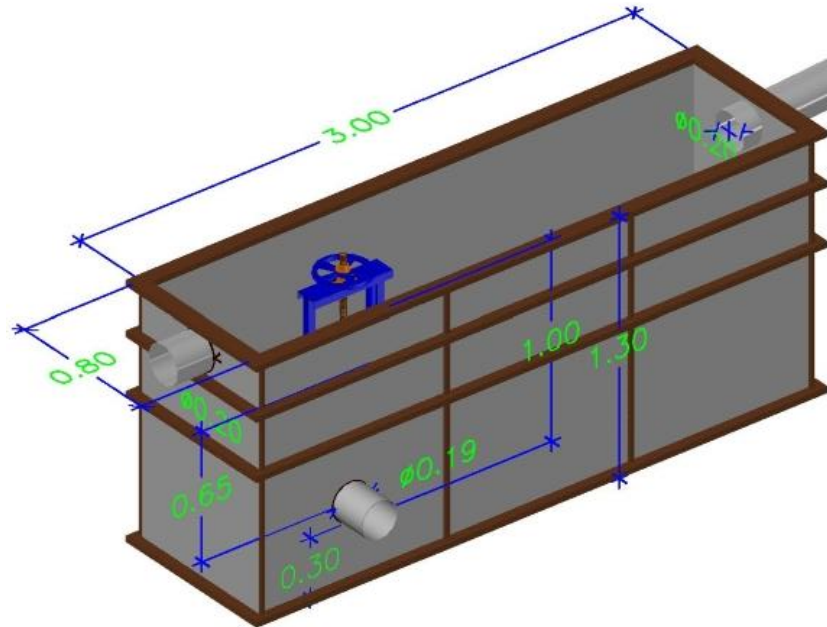


Figura 10: Diseño de tanque de pruebas para medir caudal a través del método volumétrico y de flujo ultrasónico

Fuente: Elaboración Propia (2017)

De igual manera se buscó cumplir con la altura mínima de sumergencia, la cual se calculó a través de dos métodos.

El primer método: deriva del diseño de una cámara de carga para una pequeña central hidroeléctrica que garantiza la sumergencia de la conducción forzada. Donde se estableció que $H_t = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$ es la altura total de agua desde la base hasta la superficie (m) y $H_{min} = a_2 + a_3 + a_4$ es la altura mínima de agua desde la base del tubo de salida hasta superficie (m). Para ello, según Ortiz (2011) es necesario tener en cuenta lo siguiente: (i) para evitar la entrada de sedimentos a la tubería, la altura a_1 debe estar comprendida entre los valores de 0.3 a 0.5 m.; (ii) la altura a_2 tiene el valor del diámetro exterior de la tubería; (iii) el valor de a_3 , necesario para eludir torbellinos creados por el flujo de tal manera que evite la cavitación, el cual se encuentra entre 0.5D a 1.5D; (iv) y el valor mínimo de a_4 tiene que ser menor que 0.3D para evadir el golpe de ariete.

El segundo método: Dávila et al. (2010) consideran la altura mínima entre el eje de ingreso a la tubería y el nivel de agua en la cámara, por medio de la siguiente expresión: $H_L = C \cdot v \cdot \sqrt{D}$; donde: H_L es la altura mínima de agua sobre el eje de la tubería (m), v es la velocidad media de presión (m/s), D es el diámetro interno de la tubería (m) y C es la constante que varía según algunos autores entre 0.5 y 0.7.

b. Factor de calibración para tubería PVC en distintas pendientes

El tanque de pruebas simuló la conexión entre el sistema de conducción y la tubería a presión. Por ello, se utilizaron las mismas tuberías de PVC instaladas en el sistema de irrigación de diámetro 160 mm x 6.0 m de longitud x PN-7.5. Respecto a las pendientes, se utilizó el nivel de ingeniero colocando alternativamente las pendientes ($P = [L_1 - L_2/D] \times 100$) de 4 por ciento, 6 por ciento y 10 por ciento, para así poder interpolar el comportamiento del fluido para este tipo de material con pendientes similares a las utilizadas durante la instalación. Fue necesario obtener la vista de adelante ($L_a = L_p \pm [P/100 \times D]$) que asegure la pendiente indicada y con ello, obtener el nivel en cada parante.

Con el fin de conseguir el caudal actual ($Q_a = V_{recipiente}/T_{prom}$) en las tuberías se utilizó el método volumétrico ($V = \pi r^2 \times h$), verificando que el tubo este completamente lleno, el caudal fue desviado hacia un barril metálico y se anotó el tiempo promedio de llenado ($T_{prom} = t_1 + t_2 + t_3$) del recipiente. Como el volumen del envase ($0.17 \text{ m}^3/\text{s}$) se conoce, se obtuvo el caudal actual simplemente dividiendo el volumen por el tiempo de llenado, se tomó tres veces el tiempo, de manera que sea posible determinar el valor promedio.

Paralelo a la aplicación del método volumétrico se instaló como testigo el caudalímetro de flujo ultrasónico, teniendo en cuenta los requerimientos de instalación física (Ítem 2.3.3). Conocidos ambos gastos en litros/seg se aplicó la siguiente fórmula: $k = Q_a/Q_r$, para determinar el factor de calibración; donde: Q_a es el caudal recolectado por el cilindro aforado y Q_r es el caudal registrado por el equipo de flujo ultrasónico, en consecuencia, el factor k introducido en el caudalímetro de flujo ultrasónico interpola el comportamiento del equipo a las condiciones específicas del proyecto. En consecuencia, las herramientas estadísticas que permitieron sintetizar el análisis y tener una visión más detallada del error son las siguientes.

- El coeficiente de correlación de Pearson (r) es un índice de dependencia lineal entre dos variables; (Hirsh et al., 1992). Se calcula con la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Donde σ_{xy} es la covarianza de x , y ; σ_x, σ_y son las desviaciones estándar de “ x ” e “ y ”

Los valores varían de menos uno a uno:

- Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia lineal entre dos variables denominada de relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
 - Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.
 - Si $r = 0$ no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.
 - Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.
 - Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta la otra disminuye.
- T- Student, para evaluar la significancia y los intervalos de confianza de las relaciones de dependencia, se empleará un nivel de significancia (α) del 5 por ciento y prueba estadística T- Student que se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_c = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

La hipótesis nula H_0 es rechazada si $|T_c| > T_{1-\alpha/2}$, donde $T_{1-\alpha/2}$ es el punto de distribución T – Student con $n-2$ grados de libertad y probabilidad de $\alpha/2$.

c. Curva de calibración de caudal en el canal San Ramón

Para conseguir la relación entre la altura de agua (H en m.) versus caudal (Q en m^3/s) se empleó el método de Área y Velocidad, el cual se basa en el principio de continuidad para un fluido de densidad constante, fluyendo a través del área en una sección conocida. El

producto del área de la sección por la velocidad media produjo las descargas empleadas en la curva de calibración por medio de la siguiente expresión: $V_{\text{prom}} \times \text{Área} = Q$, donde A es el área de la sección ocupada por el flujo (m^2), V_{prom} es la velocidad promedio del agua obtenida por el método del correntómetro (m/s) y Q es el caudal (m^3/s).

Se procedió a realizar la limpieza del canal San Ramón en las secciones transversales Tipo I entre las progresivas 0+000.0 hasta 0+348.3 y Tipo II entre las progresivas 0+438.5 hasta 0+804, para contrarrestar la fricción a lo largo de las paredes del canal y así causar que las velocidades del canal permanezcan uniformemente distribuidas en su sección. La utilización del correntómetro para medir la velocidad del agua consiste en un mango con una hélice, teniendo en consideración que la velocidad media se logra al colocar la hélice, al 40 por ciento del tirante promedio, medida desde el piso.

Finalmente, fue necesario establecer una relación empírica entre los niveles de agua y los caudales, en efecto, fue preciso establecer una ecuación matemática para la relación $Q = f(H)$, del conjunto de aforos realizados, tomando ajustes con el fin de utilizar el más conveniente y con menor porcentaje de error.

3.4.2. Caracterización de la red hidráulica de tuberías (Subtronal 3)

El proceso de elaborar un modelo matemático para una red de distribución de agua presupone recopilar toda la información posible acerca de su estructura y funcionamiento, y tratarla posteriormente para que pueda ser asimilada por los programas de análisis correspondientes. El modelo hidráulico permite calcular la velocidad, la pérdida de carga y la presión con el objetivo de analizar las sobrepresiones y evitar las posibles roturas en la red de tuberías, al tener en cuenta el conjunto de líneas y nodos que representan a las tuberías, embalses y puntos de consumo o inyección que conforma la red. La formulación matemática es aplicada a redes ramificadas al emplear el método del Gradiente para realizar el cálculo del modelo hidráulico, resolviendo las ecuaciones simultáneamente para caudal y alturas piezométricas, incrementando la eficiencia frente a otros métodos y reduciendo el número de iteraciones.

Se asumió que las tuberías están completamente llenas en todo momento, de esa manera, la dirección del flujo es siempre del nudo mayor al de menor altura piezométrica. Los principales parámetros de la tubería son: los nodos inicial y final, el diámetro, la longitud, el coeficiente de rugosidad (para calcular las pérdidas de carga) y su estado, esto es, si se encuentra abierta o cerrada. Es así como en este tipo de modelos se supone que los caudales ($Q = V \times A$)

demandados e inyectados permanecen constantes, no existen variaciones en la operación de la red y cumple con las hipótesis referentes al flujo, fluido y conducciones; se emplean frecuentemente para analizar el comportamiento de la red con los caudales máximos, y así someterlas a las condiciones más desfavorables.

Respecto al nivel del embalse, como la presión va a ser cero (por estar en contacto con la atmósfera), en ese caso la altura piezométrica será igual al nivel del agua, y por tanto es un dato de partida. En los demás nodos la altura piezométrica será la suma de la cota más la presión que resulte. A efectos de cálculo de la red, lo importante son las diferencias de alturas piezométricas entre los extremos de cada tubería, y dicha diferencia depende, como sabemos, de las pérdidas de carga debido a la fricción por el paso del agua, en este caso se adoptó las fórmulas de Darcy – Weisbach ($0.0826 \times f \times L/D^5 \times Q^2$) y Hazen – Williams ($10.64 \times (Q/C)^{1.852} \times D^{-4.871} \times L$) para expresar las pérdidas.

Igualmente, para poder dilucidar la relación entre los resultados de ambas ecuaciones de pérdidas por fricción (Hazen – Williams y Darcy – Weisbach), se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson que permite sintetizar el análisis y tener una visión más detallada del error entre ambas ecuaciones:

- El coeficiente de correlación de Pearson (r) es un índice de dependencia lineal entre dos variables; (Hirsh et al., 1992). Se calcula con la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Donde σ_{xy} es la covarianza de x , y ; σ_x, σ_y son las desviaciones estándar de “ x ” e “ y ”

Los valores varían de menos uno a uno:

- Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia lineal entre dos variables denominada de relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.
- Si $r = 0$ no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.

- Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.
- Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta la otra disminuye.

Con el objetivo de cumplir con los parámetros del modelo inicial se realizó una visita inspectiva en el Subtronal 3 para evaluar el estado físico de todas las válvulas. Finalmente, el análisis realizado a los resultados del modelo computacional consistió en que a partir de los parámetros apropiados para sistemas de abastecimiento de tuberías a presión, se determinaron las condiciones actuales de trabajo de la red y las posibles fallas al momento de operar. Cabe resaltar que Consper (2014) indica que el valor mínimo de 26 m.c.a. es el requerimiento mínimo de presión de trabajo en los hidrantes.

3.4.3. Monitoreo del caudal tipo ultrasónico para evaluación de la red

Los trabajos preliminares que se realizaron en el canal San Ramón y en el Subtronal 3 fueron los siguientes:

- Limpieza, macheteo y descolmatación de las pozas de sedimentación en el canal San Ramón desde la progresiva 0+830.0 hasta la toma lateral del Subtronal 3, ubicada en la progresiva 1+730.0 y así, se evitó el ingreso de maleza, sedimentos y troncos hacia la red de tuberías. Finalmente se fue soltando agua progresivamente a través del canal para que ayude a la limpieza.
- Limpieza en la toma lateral y la cámara de carga del Subtronal 3 y así, se evitó que ingrese piedras, maleza y animales hacia la red de tuberías.

Para la configuración de los parámetros del caudalímetro de flujo ultrasónico se realizaron los siguientes pasos:

- Se limpió el área externa de la tubería, en la cual se instalaron los transductores del medidor de flujo ultrasónico, según el tipo de montaje correspondiente, previa aplicación del lubricante entre la tubería y el sensor.
- Se programó en el sistema del medidor las siguientes especificaciones: diámetro exterior, espesor, material (PVC), revestimiento, tipo de fluido (agua), tipo de

transductores (tipo estándar), tipo de montaje de transductores (V, W, Z), factor de calibración (K) y unidades.

- Se colocaron los transductores a la distancia de separación que indica el equipo.

Consideraciones de la aplicación del medidor ultrasónico de tiempo de tránsito:

- Si se tiene una capa de pintura es necesario el revestimiento y debe conocerse el material y el espesor para que el equipo lo tome en cuenta. Para este caso no se consideró revestimiento alguno.
- Debido a que la señal debe atravesar la tubería varias veces, la presencia de burbujas o sólidos debilita la señal. Teniendo en cuenta que los sólidos totales en suspensión para el cual el equipo fue calibrado corresponde entre 3.18 ppm y 16 ppm.

Para el monitoreo de caudal de tipo flujo ultrasónico se siguieron los siguientes pasos:

- Se realizó un recorrido para verificar la instalación de todos los accesorios como válvulas, curvas y tapones en su posición definitiva y no exista discontinuidad en toda la red.
- Se realizó un recorrido por el Subtronal 3 desde la progresiva 0+000.0 hasta la progresiva 5+728.0 incluyendo sus subramales con el objetivo de evaluar la apertura o cierre de válvulas, debido a que se identificó previamente que algunas cámaras que albergan las válvulas no tienen una salida definida.
- Se excavó en la línea de conducción dos puntos de control (1+790.0 y 2+620.0) para la instalación del caudalímetro de tipo ultrasónico, se buscó que se encuentren ubicadas en tramos rectos y relativamente lejos de cualquier tipo de accesorio que afecte la uniformidad del fluido.
- En la bocatoma San Ramón se cerraron las compuertas de barraje móvil y de limpia; se abrió la compuerta de la ventana izquierda de captación para el ingreso del caudal (entre 3 a 5 palanqueos); se cerró la compuerta de limpia del desrripeador y del desarenador, para un flujo continuo a través del canal.
- Teniendo en cuenta que la red de tuberías es nueva y nunca fue probada, se tuvo que tomar medidas de precaución, por ello, en el primer tramo ensayado se fue llenando

progresivamente con agua para expulsar completamente el aire por las válvulas de purga abiertas y las de aire, con la finalidad de limpiar y acomodar las tuberías con agua. Luego se fueron cerrando lentamente las válvulas de purga abiertas, aguas arriba. Asimismo, con la información que se obtiene de la curva de calibración de caudal para el canal San Ramón, se garantizó la circulación de 161 litros/seg y 186.6 litros/seg en el canal para ambas secciones de control previamente calibradas. Teniendo un caudal constante en el canal se procedió a abrir la compuerta de la toma lateral del canal San Ramón hacia la red de tuberías del Subtronal 3.

- La prueba de flujo se realizó en las progresivas 1+790.0 y 2+620.0 del Subtronal 3 para la verificación la capacidad de conducción del sistema y se procedió a registrar la lectura del caudal (litros/seg) del medidor de flujo ultrasónico, hasta alcanzar un punto donde la lectura se estabiliza.
- Se encontraron inconvenientes con algunos hidrantes que no tienen una salida definida hacia la superficie, lo mismo ocurre con los reboses de las cámaras rompe-presión, sumado a los problemas en el dimensionamiento del diámetro de los reboses, ocurriendo un rebalse de las cámaras rompe-presión.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO ULTRASÓNICO DE TIEMPO DE TRÁNSITO

a. Implementación del tanque de pruebas

Se presentan las dimensiones del tanque de pruebas entre las cuales se tiene: un H_t desde la base hasta la superficie de 1.3 m, un H_{min} desde la base de la tubería hasta la superficie de 1.0 m, un H_L desde el eje de la tubería hasta el nivel de rebose de 0.6 m, un largo de 3.0 m, un ancho de 0.8 m, como se muestra en la Figura 11.

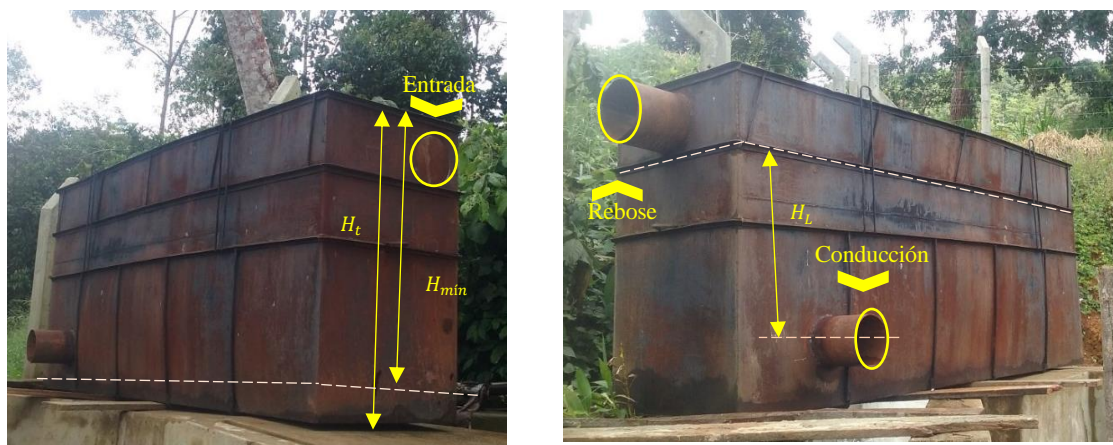


Figura 11: Tanque de prueba para medición de caudal con vista frontal (izquierda) y vista lateral (derecha), identificando el $H_t = 1.3\text{ m}$, $H_{min} = 1\text{ m}$, $H_L = 0.65\text{ m}$, entrada ($\phi = 200\text{ mm}$), rebose ($\phi = 8''$) y conducción ($\phi = 8''$) del agua en el tanque.

Según los criterios empleados por Ortiz (2011), para garantizar la altura de sumergencia es necesario tener en cuenta los sedimentos ($a_1 = 0.3\text{ m}$) con un tiempo de retención de sólidos en suspensión de 24 segundos, el diámetro de tubería ($a_2 = 0.2\text{ m}$), la cavitación ($a_3 = 0.2\text{ m}$) y el golpe de ariete ($a_4 = 0.05\text{ m}$), consiguiendo así un H_t de 0.75 m y un H_{min} de 0.45 m. Por otro lado, Dávila et al. (2010) en el desarrollo de la ecuación indican que solo es necesario suponer una velocidad ($V_m = 3.0\text{ m/s}$) en la tubería ($D_{int} = 0.14\text{ m}$) y así obtener un H_L de 0.57 m. Estas alturas producto de la aplicación de ambos métodos, en comparación con las dimensiones reales del tanque de pruebas son menores, garantizando así una sumergencia mínima de la conducción forzada.

Con la finalidad de soportar el peso de la conducción forzada a las pendientes indicadas (4 por ciento, 6 por ciento y 10 por ciento) se implementaron parantes de madera junto a varillas de acero para el descanso de las tuberías embonadas, como se muestra en la Figura 12.



Figura 12: Trabajos preliminares de implementación de parantes (a), colocación de clavos para el soporte de las varillas de acero (b), colocación de varillas de acero (c), prueba de caudal con tuberías de PVC-U 160 mm a pendiente de 4% (d), 6% (e) y 10% (f)

b. Factor de calibración para tubería PVC en distintas pendientes

La Tabla 7 resume los valores del caudal actual (Q_{actual}) obtenido a través del método volumétrico frente al caudal registrado ($Q_{\text{registrado}}$) utilizando el equipo de flujo ultrasónico, lo que resultó en un factor de calibración promedio de 1.09.

Tabla 7: Valores del caudal actual (Qa) por el método volumétrico, caudal registrado (Qr) a través del método de flujo ultrasónico y el factor de calibración (K) en tuberías PVC - U marca Gerfor

Número	Fecha	Pendiente (%)	Q actual (l/s)	Q registrado (l/s)	Factor K
1			39.84	39.33	1.01
2	25/05/2017		39.84	39.31	1.01
3		4	39.84	40.56	0.98
4		4	53.21	47.42	1.12
5	28/05/2017		53.21	45.74	1.16
6			53.21	47.10	1.13
7			54.07	51.08	1.06
8	25/05/2017		54.07	51.16	1.06
9		6	54.07	51.26	1.05
10		6	65.27	54.71	1.19
11	28/05/2017		65.27	55.04	1.19
12			65.27	54.85	1.19
13			49.34	51.74	0.95
14	25/05/2017		49.34	51.20	0.96
15		10	49.34	50.58	0.98
16		10	63.72	52.92	1.20
17	28/05/2017		63.72	52.99	1.20
18			63.72	52.99	1.20
K Promedio					1.09

Se evaluó el grado de dependencia lineal entre los valores del caudal actual obtenido por el método volumétrico y el caudal registrado por el método de flujo ultrasónico empleando la prueba de correlación de Pearson. La Figura 13 relaciona ambas variables en un gráfico de dispersión, y además se obtuvo un valor del coeficiente de correlación de Pearson (r) de 0.879 (n=18).

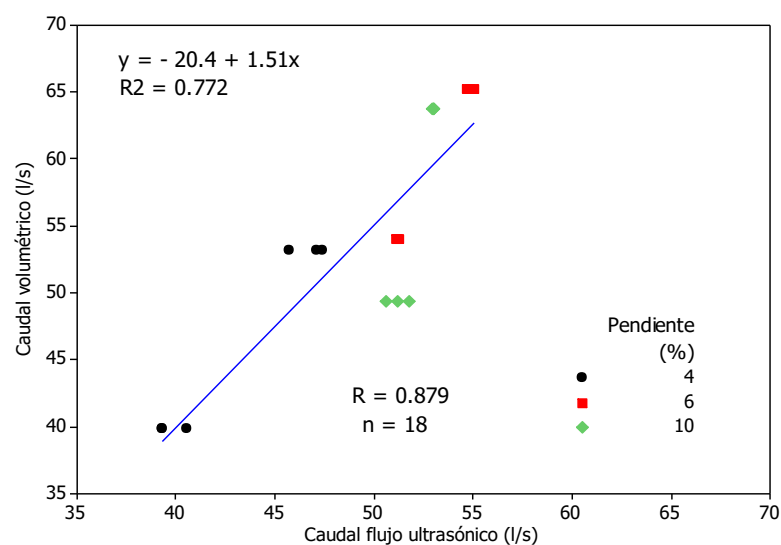


Figura 13: Dispersión entre variable caudal por el método volumétrico y caudal de flujo ultrasónico para pendientes de 4%, 6% y 10%. La línea de color azul representa la recta de regresión lineal

En la interpretación del coeficiente de correlación (r) se indica que existe una correlación positiva alta, lo que significa que se tiene una relación directa entre ambas variables. Para evaluar la significancia y los intervalos de confianza se ha empleado un nivel de significancia (α) del 5 por ciento y la prueba estadística t – Student para el coeficiente de Pearson. La hipótesis nula H_0 es que el coeficiente de correlación obtenida procede de una población cuya correlación es cero.

El nivel de significancia ($\alpha=5$ por ciento) para una prueba bilateral de dos extremos o dos colas de una distribución normal y sus respectivos valores de T . Al comparar el valor obtenido ($T_C = 7.37$) con el de las tablas de distribución t – Student ($T_{1-\alpha/2} = 2.12$) se rechaza la hipótesis nula con un riesgo (máximo) de equivocarse de 0.05 de significancia. Por lo tanto, la correlación obtenida no procede de una población caracterizada por una correlación cero y las variables están relacionadas.

c. Curva de calibración del caudal en el canal San Ramón

Se empleó el correntómetro para el cálculo de la velocidad del flujo en el canal San Ramon, asimismo se registró la altura de lámina de agua correspondiente, como se muestra en la Figura 14.



Figura 14: Uso del correntómetro en la sección de control (Tipo I) para determinar la velocidad del flujo (a) y medida de altura de lámina de agua correspondiente (b)

Como se muestra, en la Tabla 8 se realizaron varios aforos en las secciones de control (Tipo I y Tipo II) para diferentes alturas de agua (H), en el cual se obtuvo la velocidad (V) utilizando el correntómetro y a través del empleo de la ecuación de continuidad, el caudal (Q), valores necesarios para delinear la curva de calibración del canal San Ramón.

Tabla 8: Valores de velocidad por el método del correntómetro y cálculo de caudal a través de la ecuación de continuidad en relación con la altura de agua (H)

Sección Número	H (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (lt/s)	
Tipo I	1	0.61	0.89	1.8	1608.6
	2	0.55	0.81	1.8	1460.3
	3	0.47	0.69	1.6	1109.2
	4	0.41	0.60	1.5	901.0
	5	0.38	0.55	1.4	769.1
	6	0.31	0.46	1.5	685.9
	7	0.29	0.42	1.2	509.8
	8	0.29	0.43	1.2	513.3
	9	0.25	0.37	1.3	479.4
	10	0.24	0.35	0.9	316.4
	11	0.15	0.22	0.8	177.0
	12	0.11	0.15	0.6	92.3
	13	0.10	0.15	0.7	103.3
Tipo II	1	0.37	0.47	1.6	759.2
	2	0.27	0.35	1.0	351.0
	3	0.24	0.31	0.9	280.8
	4	0.21	0.27	0.9	245.7
	5	0.15	0.20	0.8	156.0
	6	0.12	0.16	0.7	109.2
	7	0.10	0.13	0.6	78.0

Con los valores de la Tabla 8 se estableció la relación H – Q y H – V, el cual tuvo como resultado la ecuación general de la curva, como se muestra en la Figura 15. Los pares de valores altura de agua versus caudal se grafican en un sistema cartesiano primario y los valores de velocidad en un sistema secundario. Los valores se ajustaron a una ley matemática por el método de regresión de potencia, siendo el más conveniente y con un factor de correlación considerados entre fuerte y muy fuerte.

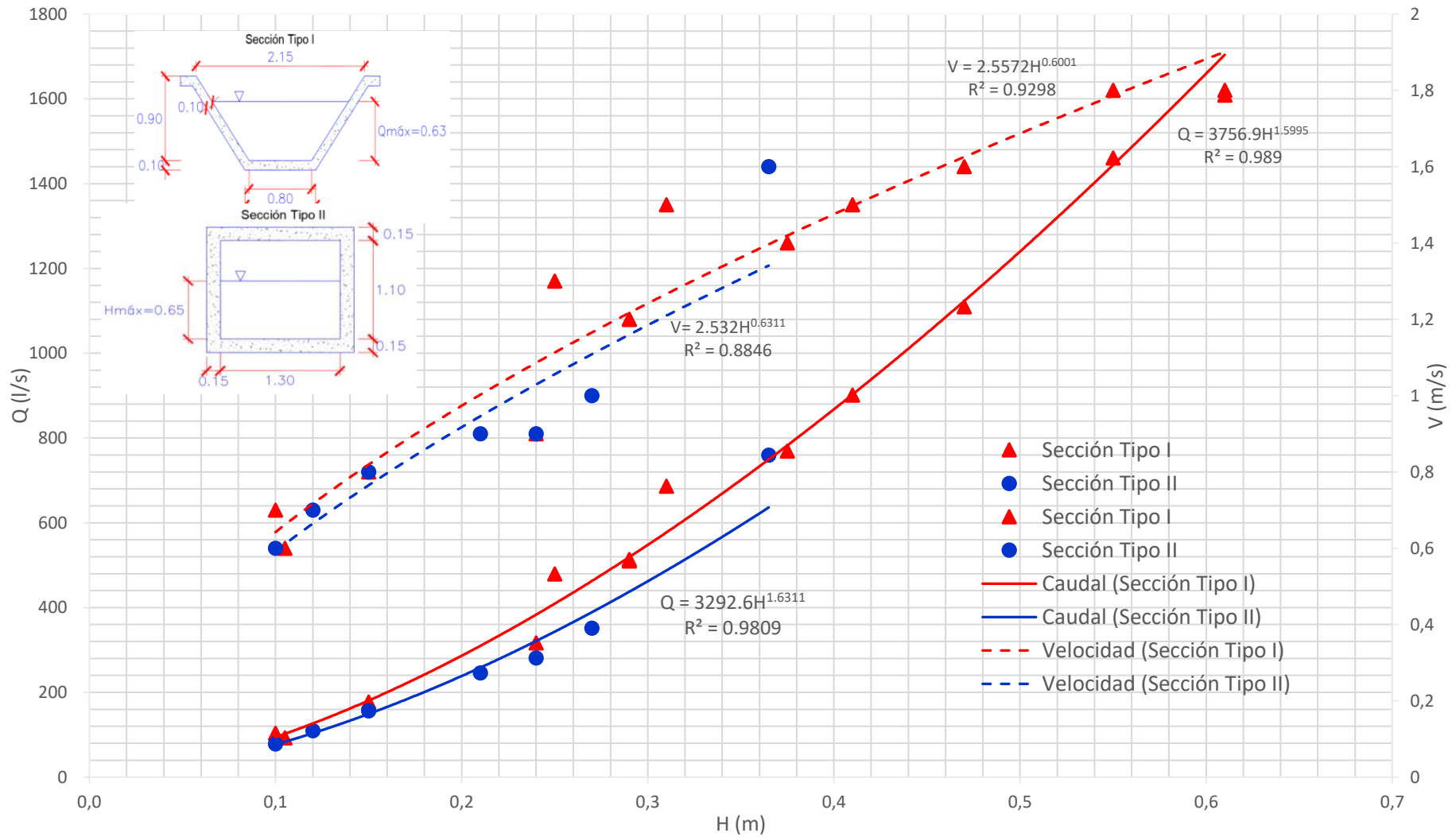


Figura 15: Curva de calibración de caudal (Q en l/s) versus altura de agua (H en m) y velocidad (V en m/s) versus altura de agua (H en m) para el canal San Ramón en las secciones Tipo I y Tipo II. Con fecha 23 de junio del 2017

A partir de la información de la curva de calibración de caudal que proporciona las ecuaciones potenciales de altura de agua (H) en función del caudal (Q); en la Tabla 9 se emplearon para determinar la altura de agua y garantizar el ingreso 280 litros/seg como corresponde para el modelo inicial, sin embargo al encontrar problemas con los reboses de las cámaras rompe-presión, fue necesario determinar la altura de agua para caudales de 186.6 litros/seg y 161 litros/seg.

Tabla 9: Aplicación ecuaciones de calibración de caudal en cada sección transversal para obtener el caudal máximo, la altura de agua para un caudal de 280 l/s, 186.6 l/s y 161 l/s

Q (l/s)	Sección	$H = \sqrt[3]{Q/a}$ (m)	Escenario
280.0	Tipo I	0.20	Inicial
	Tipo II	0.22	
186.6	Tipo I	0.15	Campo 1
	Tipo II	0.17	
161.0	Tipo I	0.14	Campo 2
	Tipo II	0.16	

4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA RED HIDRÁULICA DE TUBERÍAS (SUBTRONCAL 3)

El grado de dependencia lineal entre los resultados de pérdidas por fricción obtenido a través de las ecuaciones de Hazen – Williams y Darcy – Weisbach empleando la prueba de correlación de Pearson. La Figura 16 relaciona ambas variables en un gráfico de dispersión, y además se obtuvo un valor del coeficiente de correlación de Pearson (r) de 1.0 (n=82).

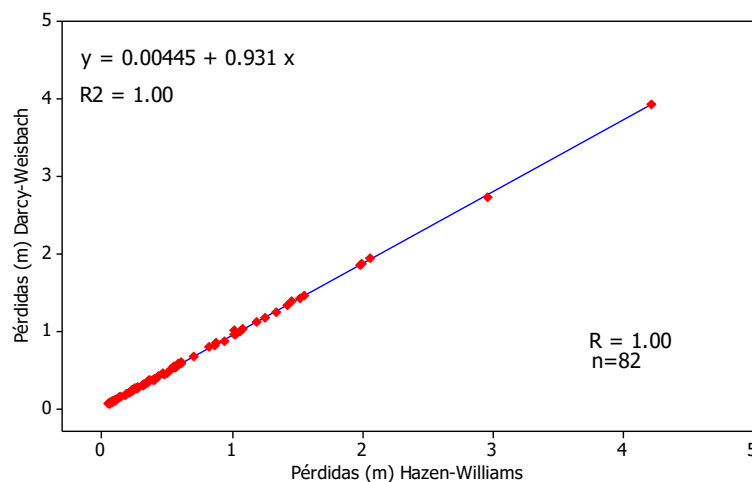
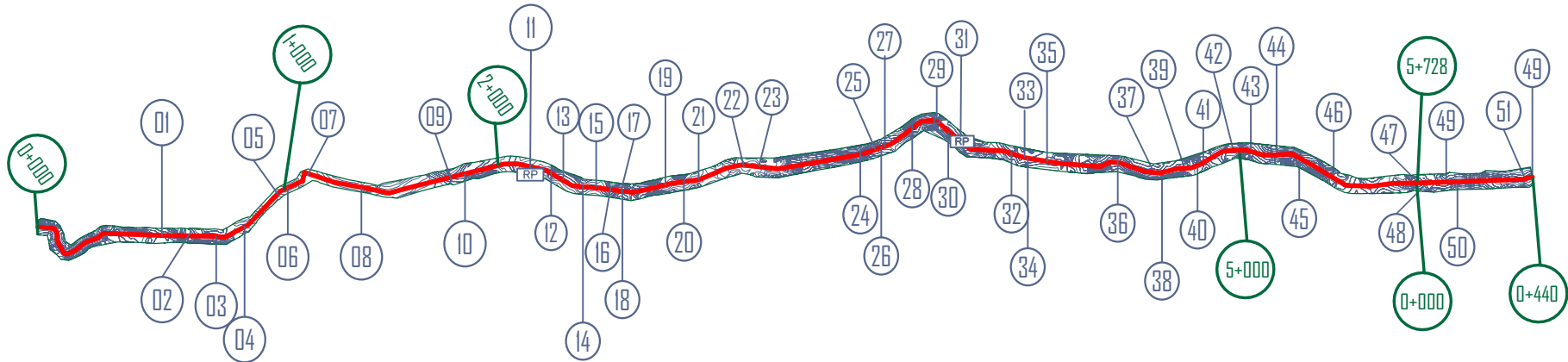
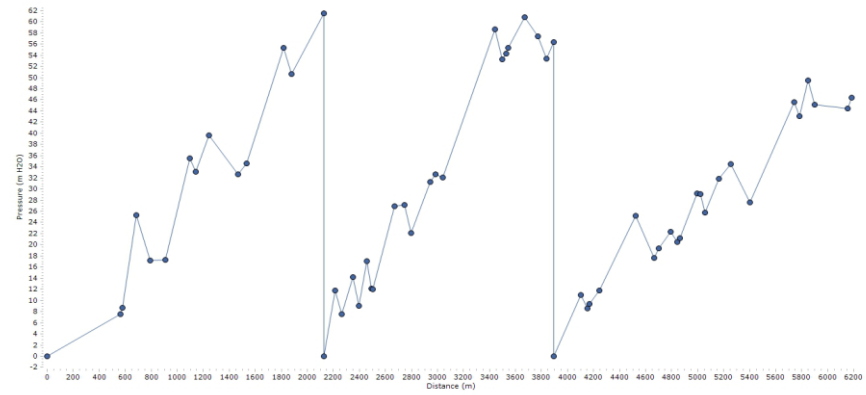
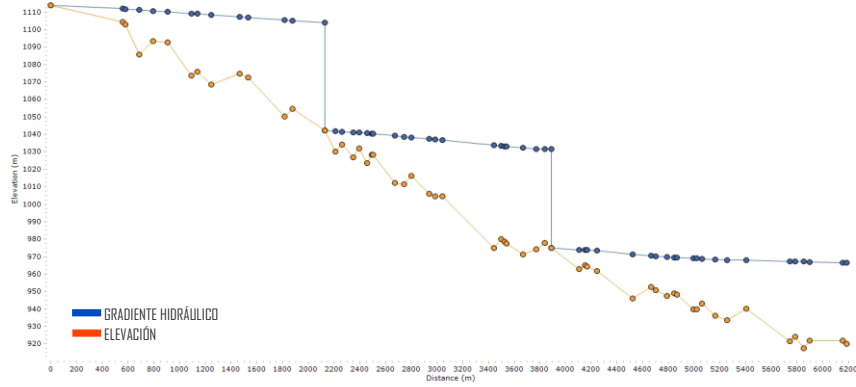


Figura 16: Dispersión para la variable Headloss (perdidas por fricción) según Hazen – Williams (C=150) y Darcy – Weisbach (e=0.00000152m). La línea de color azul representa la recta de regresión lineal

En la interpretación del coeficiente de correlación (r) se encuentra que existe una correlación positiva perfecta, lo que significa que se tiene una relación directa entre ambas variables. Por esa razón, al tener una casi nula variación entre los resultados, se optó por los resultados obtenidos aplicando la ecuación de Hazen - Williams para realizar el análisis de los resultados de la caracterización de la red hidráulica.

En el análisis, de acuerdo con la norma OS.050 la velocidad máxima en la red de agua deberá ser de 3.0 m/s y en casos justificados 5.0 m/s y la mínima no menor de 0.50 m/s y la norma NTP-ISO 4422-2; los tubos de PVC-U son diseñados para la presión nominal o clase, donde los valores de presión máxima de servicio que suele coincidir con la clase del tubo son válidos, con un factor de seguridad de 2.5 para una vida útil de 50 años; por lo tanto, al revisar los resultados obtenidos se observa que la red instalada cumple con la normativa vigente dado que la velocidad máxima es de 2.19 m/s y la mínima es 0.58 m/s lo que indica que la diferencia entre lo estipulado por la norma y el valor obtenido es aceptable; y la presión máxima de servicio no supera la presión nominal, sin embargo al inicio del Subramal 11 hasta la cámara rompe-presión próxima no cumple con la presión máxima de servicio correspondiente para la clase, en consecuencia la vida útil de estas puede disminuir. Lo anterior revela que la red hidráulica cumple con los aspectos de funcionalidad hidráulica, economía de los recursos empleados tanto en los materiales, como en el planteamiento de estructuras que facilitan las labores de construcción y operación del proyecto.

Al respecto, se compara gráficamente los resultados del gradiente hidráulico y la elevación en la Figura 17, en relación con la Subtronal 3 - Subramal 13. La distancia vertical desde un punto en la tubería hasta la LGH es la medida de carga de presión (es decir, energía) y la diferencia entre la LGH y el nivel estático, es la pérdida de carga por fricción del flujo. Asimismo, existen dos cámaras rompe-presión ubicadas en las progresivas 2+116.2 y 3+880.0 que permiten disipar la energía y reducir la carga de presión a cero, para evitar la falla de la red. Además, muestra los resultados de las presiones en cada nodo respecto al Subtronal 3 - Subramal 13. Se utilizaron tuberías de distintas clases y así optimizar las pérdidas de carga, consiguiendo presiones dentro de los rangos admisibles.



L E Y E N D A									
01	HIDRANTE / 0+568.5	12	PURGA / 2+201.7	23	AIRE / 3+029.0	34	HIDRANTE / 4+154.8	45	PURGA / 5+238.5
02	PURGA / 0+675.0	13	AIRE / 2+252.0	24	PURGA / 3+429.0	35	HIDRANTE / 4+230.0	46	AIRE / 5+387.8
03	AIRE / 0+781.7	14	PURGA / 2+337.4	25	AIRE / 3+486.2	36	PURGA / 4+507.3	47	PURGA / 5+227.6
04	HIDRANTE / 0+897.3	15	AIRE / 2+384.8	26	HIDRANTE / 3+514.1	37	AIRE / 4+648.0	48	AIRE / 0+040.3
05	PURGA / 1+082.7	16	PURGA / 2+445.0	27	HIDRANTE / 3+528.9	38	HIDRANTE / 4+684.2	49	PURGA / 0+106.9
06	AIRE / 1+128.6	17	AIRE / 2+481.9	28	PURGA / 3+656.0	39	PURGA / 4+775.2	50	AIRE / 0+154.0
07	PURGA / 1+233.4	18	HIDRANTE / 2+490.8	29	INICIO RH / KM:3+760.0	40	AIRE / 4+829.2	51	AIRE / 0+407.1
08	AIRE / 1+452.0	19	HIDRANTE / 2+660.0	30	AIRE / 3+824.8	41	INICIO RI2 / KM:4+850.0	52	HIDRANTE / 0+440.0
09	PURGA / 1+804.0	20	PURGA / 2+732.4	31	CAMARA ROMPE PRESIÓN / 3+880.0	42	PURGA / 4+979.2	53	
10	AIRE / 1+863.1	21	AIRE / 2+785.7	32	PURGA / 4+089.3	43	AIRE / 5+041.8	54	
11	C. ROMPE PRESIÓN 2+116.2	22	PURGA / 2+974.6	33	AIRE / 4+138.3	44	HIDRANTE / 5+146.7	55	

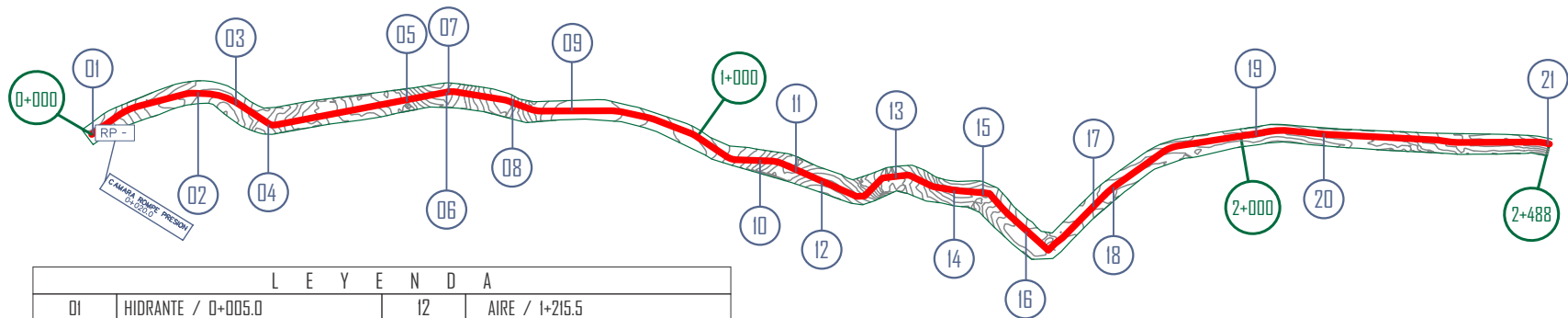
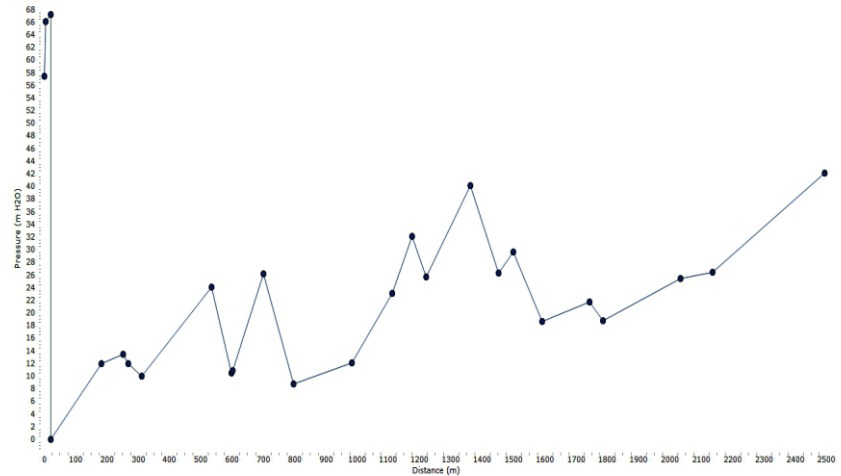
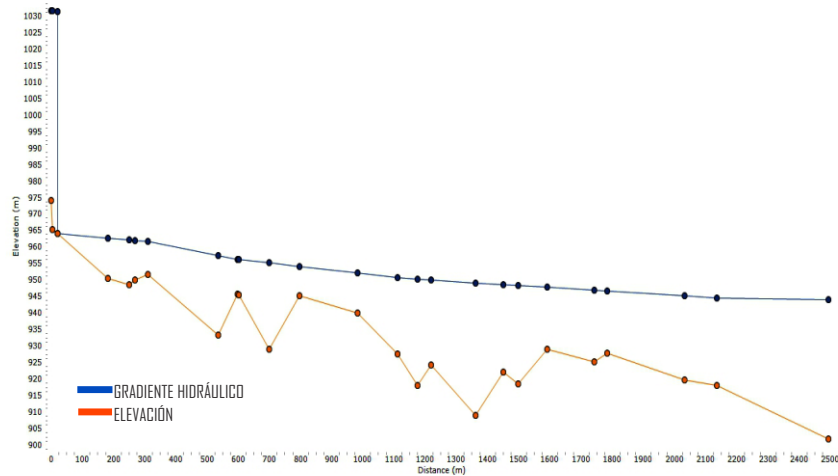
Figura 17: Perfil hidráulico el cual relaciona elevación - gradiente hidráulico, distancia - presión y vista en planta del Subtronzal 3

En la Figura 18 se relaciona gráficamente los resultados del gradiente hidráulico y la elevación respecto al Subtronal 3 - Subramal 11. Puesto, que las pérdidas friccionales nunca son recuperadas, la LGH siempre se inclina en forma descendiente siguiendo la dirección del flujo. La empinadura del declive estará determinada por el índice al cual se pierde la energía por fricción. Asimismo, existen una cámara rompe-presión ubicada en las progresiva 0+020.0 que permite disipar la energía y reducir la carga de presión que proviene aguas arriba del Subtronal 3 a cero con la finalidad de evitar daños a las tuberías agua abajo. Se observa que los hidrantes que muestra la Tabla 10, poseen baja presión en su entrega, debido a que se encuentran relativamente cerca de la cámara rompe-presión o encontrarse casi al mismo nivel que el canal San Ramón.

Tabla 10: Resumen de las características de nodos demandantes o hidrantes (H) para el Subtronal3, Subramal 11 y Subramal 12

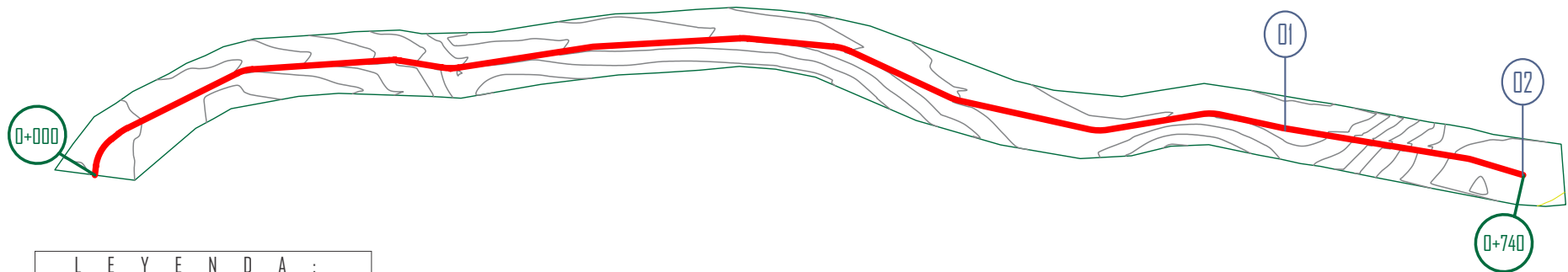
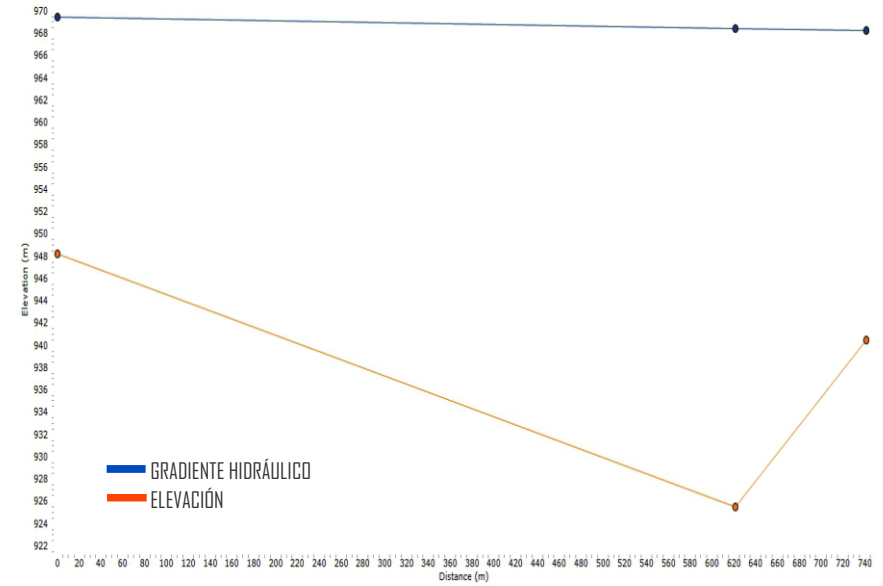
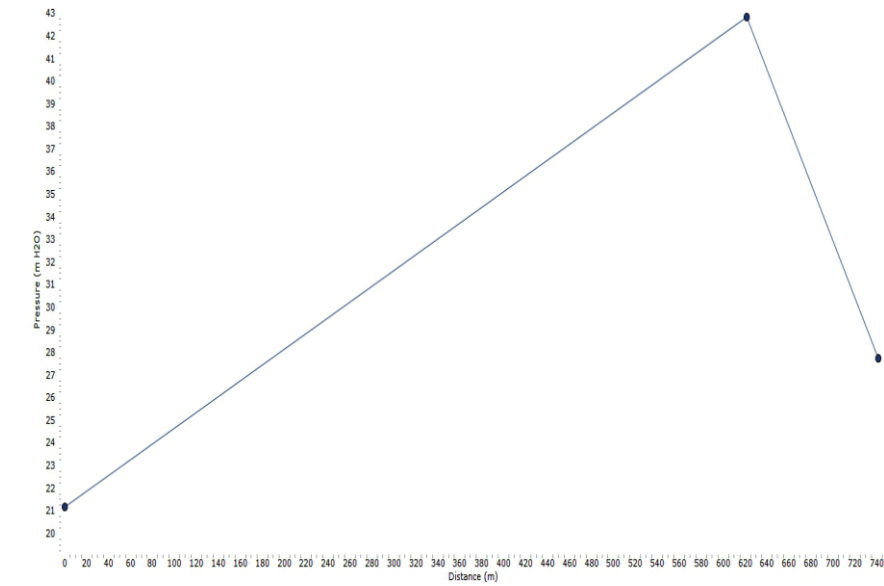
Progresiva	Elevation (m)	Demand (l/s)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)	Observación
Subtronal 3					
0+568.5	1102.99	15.55	1111.76	8.76	P< 26 mca -> Evaluar
0+897.3	1092.64	15.55	1110.02	17.35	P< 26 mca -> Evaluar
2+490.8	1028.42	15.55	1040.46	12.01	P< 26 mca -> Evaluar
2+660.0	1012.28	15.55	1039.20	26.86	P> 26 mca -> OK
3+514.1	978.74	15.55	1033.11	54.26	P> 26 mca -> OK
3+528.9	977.52	15.55	1033.01	55.38	P> 26 mca -> OK
4+154.8	964.32	15.55	973.71	9.37	P< 26 mca -> Evaluar
4+230.0	961.65	15.55	973.44	11.76	P< 26 mca -> Evaluar
4+684.2	950.73	15.55	970.17	19.40	P< 26 mca -> Evaluar
5+146.7	936.40	15.55	968.33	31.86	P> 26 mca -> OK
Subramal 11					
0+005.0	965.42	15.55	1031.65	66.10	P> 26 mca -> OK
0+181.6	950.59	15.55	962.60	11.99	P< 26 mca -> Evaluar
0+599.4	945.44	15.55	956.30	10.84	P< 26 mca -> Evaluar
1+107.9	927.51	15.55	950.66	23.11	P< 26 mca -> Evaluar
2+129.5	918.10	15.55	944.62	26.47	P> 26 mca -> OK
2+487.7	901.82	15.55	944.03	42.13	P> 26 mca -> OK
Subramal 12					
0+740.0	940.47	15.55	968.26	27.73	P> 26 mca -> OK
Subramal 13					
0+440.0	920.03	15.55	966.57	46.44	P> 26 mca -> OK

En cuanto al Subtronal 3 - Subramal 12, en la Figura 19 se contrastan gráficamente los resultados del gradiente hidráulico y la elevación en cada nodo. Asimismo, muestra el perfil de las presiones, conveniente para clase, dentro de los rangos admisibles. Finalmente, en la Tabla 10 se presentan las presiones calculadas, que oscilan entre 26.47 m.c.a. a 66.10 m.c.a. en cada punto de salida de agua o hidrante, por lo tanto, se encuentran dentro del rango óptimo para el funcionamiento del sistema. Sin embargo, en algunos hidrantes las presiones calculadas oscilan entre 8.76 m.c.a. a 23.11 m.c.a. debido a la ubicación de algunos, casi al mismo nivel que el canal San Ramón margen derecha y relativamente cerca de las cámaras rompe-presión, lo cual no permite tener una presión adecuada.



L E Y E N D A			
01	HIDRANTE / 0+005.0	12	AIRE / 1+215.5
02	HIDRANTE / 0+181.6	13	PURGA / 1+350.9
03	PURGA / 0+284.8	14	AIRE / 1+446.9
04	AIRE / 0.309.5	15	PURGA / 1+493.2
05	PURGA / 0.532.4	16	AIRE / 1+586.2
06	AIRE / 595.6	17	PURGA / 1+736.6
07	HIDRANTE / 0.599.4	18	AIRE / 1+779.6
08	PURGA / 0.697.3	19	PURGA / 2+026.9
09	AIRE / 0.793.6	20	HIDRANTE / 2+129.5
10	HIDRANTE / 1.107.9	21	HIDRANTE / 2+487.7
11	PURGA / 1.171.9		

Figura 18: Perfil hidráulico el cual relaciona elevación - gradiente hidráulico, distancia - presión y vista en planta del Subramal 11



L E Y E N D A :	
01	PURGA / 0+620-0
02	HIDRANTE / 0+740.0

Figura 19: Perfil hidráulico el cual relaciona elevación - gradiente hidráulico, distancia - presión y vista en planta del Subramal 12

4.3. MONITOREO DEL CAUDAL TIPO ULTRASÓNICO PARA EVALUACIÓN DE LA RED

Los trabajos preliminares de limpieza en las pozas de sedimentación, toma lateral y cámaras para albergar válvulas se presentan en la Figura 20.



Figura 20: Limpieza en el canal San Ramón de pozas de sedimentación en las progresivas 1+700 (a) y 1+400 (b), toma lateral del Subtronal 3 en la progresiva 1+730.4 (c); limpieza de cámara de purga inundada por lluvias en la progresiva 1+804 del Subtronal 3 (d)

Los trabajos de preparación del punto de control en el kilómetro 1+790 del Subtronal 3 para la instalación del caudalímetro de tipo ultrasónico se muestran en la Figura 21.



Figura 21: Preparación del punto de control en el Subtronal 3 (km: 1+790.0): excavación (a), limpieza (b), instalación de caudalímetro de tipo flujo ultrasónico (c) y monitoreo de caudal de flujo ultrasónico (d)

En la Figura 22 se puede apreciar los datos recopilados por el caudalímetro de flujo ultrasónico calibrado ($K=1.09$) e instalado en el kilómetro 1+790 (prueba 1) y 2+620 (prueba 2) del Subtronal 3. El cual relaciona el caudal (litros/seg) en el tiempo (seg), donde el caudal real (Q_{real}) representa el caudal destinado al ingreso de la red en campo y el caudal ultrasónico ($Q_{\text{ultrasónico}}$) es el caudal registrado con caudalímetro de flujo ultrasónico.

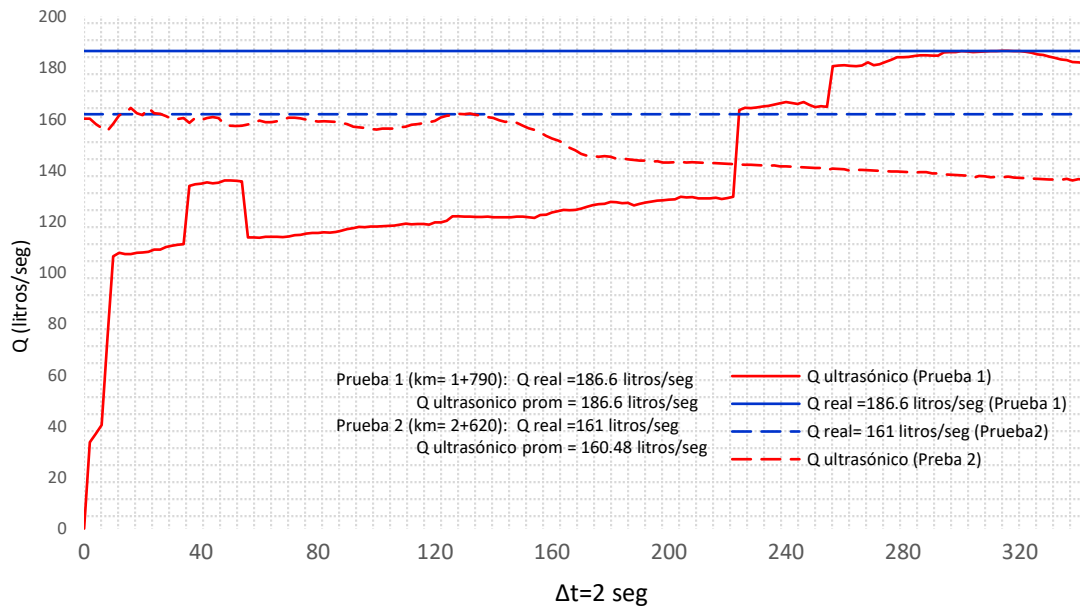


Figura 22: Variación de caudal medido a través de caudalímetro ultrasónico con un factor de calibración ($K=1.09$) en las progresivas 1+790.0 ($Q=186.6 \text{ l/s}$) y 2+620.0 ($Q=161.0 \text{ l/s}$)

En la prueba 1 el caudalímetro de flujo ultrasónico empieza a reconocer el caudal que circula desde que empieza el llenado de la red hasta llegar a un tiempo donde la lectura se mantiene constante, obteniendo un $Q_{ultrasónico \text{ prom}} = 186.6 \text{ litros/seg}$ (entre 278 - 330 seg) por otro lado, para la realización de la prueba 2 se disminuyó el caudal actual debido a problemas con los reboses de las cámaras rompe presión, obteniendo un $Q_{ultrasónico \text{ prom}} = 160.48 \text{ litros/seg}$ (entre 0 – 56 seg), respecto al caudal real.

V. CONCLUSIONES

1. La calibración del caudalímetro de tipo flujo ultrasónico permitió corregir las diferencias entre el perfil actual de velocidad y el perfil supuesto en los cálculos del medidor del flujo de agua; esto se representó en un factor de calibración de 1.09 entre el caudal volumétrico (Q actual) y el caudal ultrasónico (Q registrado) determinado bajo las condiciones específicas del estudio.
2. La caracterización reveló que la red de tubería cumple con los aspectos de funcionalidad hidráulica y economía de recursos empleados, tanto en los materiales como en el planteamiento de estructuras que facilitaron las labores de operación del sistema, logrando además identificar hidrantes que no cumplen con la presión mínima de trabajo. Asimismo, la actividad de campo permitió reconducir los valores ofrecidos por el modelo hidráulico inicial, al identificar la necesidad del cierre de algunas válvulas cuya salida no estaba definida y que pudieron causar futuros problemas de inundación.
3. Del caudal registrado por el equipo ultrasónico y el estimado por las ecuaciones empíricas, se comprobó que la tecnología de flujo ultrasónico de tiempo de tránsito representa el caudal medido con exactitud respecto al caudal real; esta representatividad permitió confirmar que no existen pérdidas de agua en la red de tuberías, revelando una adecuada instalación. De este modo, se convierte en una opción confiable para el empleo en actividades relacionadas al control del agua para sistemas de abastecimiento con fines de riego.

VI. RECOMENDACIONES

1. Corregir el diseño del diámetro de los reboses de las cámaras rompe presión y con ello obtener una mejora de las condiciones operativas de la red. En ese sentido la técnica expuesta en el presente trabajo es una herramienta de diagnóstico, pues permite identificar la fuente del problema lo que facilita tomar la acción correctiva.
2. Realizar más estudios en campo y continuar con la investigación en los demás subtruncas, ramales y subramales, incluyendo análisis de más modelos y escenarios para obtener un panorama más amplio del comportamiento de la red hidráulica a nivel de caudal y presión.
3. Empleando el equipo de flujo ultrasónico calibrado, se deben continuar con las pruebas de capacidad de conducción en los demás subtruncas y ramales que comprenden el sistema, y así determinar la capacidad de conducción para los diferentes diámetros.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agüera, S. J. 2011. Ecuaciones Fundamentales de un flujo. (diapositiva). Córdova, ES, Editora Departamento de Química, Física y Termodinámica Aplicada. 30 diapositivas.
- Agüero, P. R. 1997. Agua potable para poblaciones rurales. Ed. R García Bedoya. Ed. Rev. Lima, PE. Asociación de servicios educativos rurales. p. 61-62.
- Alcober F, X. 1999. Medida de caudal no intrusiva por ultrasonidos. Automática e Instrumentación. no. 297: 81-89.
- Anzures O, A. 2015. Aplicación de procesos de decisión de Markov a la calibración de los modelos de simulación de redes hidráulicas. Tesis Mag. Ing. Civil Hidráulica. Morelos, MX. 251p. Fuente original: Hirrel D. Timothy (2008). How not to calibrate a hydraulic network model. Journal American Water Work Association. Volumen 100, Number 8, August.
- Barrios, O. JE. 2016. Diseño de un sistema de vigilancia de la calidad de agua potable urbana (SCAPU). In Estrategias para el desarrollo de modelos de simulación. México. p.1-29.
- Bourguett O, V. 2000. Medidor Ultrasónico tiempo en tránsito. (diapositiva). Ed. AL Ochoa. México. Comisión Nacional del Agua. 85 diapositivas.
- CNA (Comisión Nacional del Agua, MX). 2007. Modelación hidráulica y de calidad en redes de agua potable. Eds. VH Alcocer; VG Tzatchkov. Ed. Rev. Coyoacán, MX D.F. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 250 p.
- Dávila, C. Vilar, D. Villanueva, G. Quiroz, L. 2010. Manual para evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas. Ed. E Velo. Lima, PE. CEDECAP. 200p.
- Díaz G, PE. 2014. Diseño hidráulico de las troncales y ramales del canal principal San Ramón margen derecha – Sistema de Irrigación Pangoa. s.l. s.n.t. 95p.

- García, P. DA. 2002. Análisis de las características hidráulicas del medidor de caudal del tipo garganta o “RBC” implementado en el ámbito del valle del río chillón. Tesis Ing. Agrícola. Lima, PE. UNALM. p. 3-8.
- García, G. L. 1999. Teoría de la medición de caudales y volúmenes de agua e instrumental necesario disponible en el mercado. En A. Ballester, J. Fernández, & J. López, Medida y evaluación de las extracciones de agua subterráneas (págs. 21-42). Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.
- García, A. MM. 2006. Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas. Proyecto fin de carrera. Cartagena. p. 5-16.
- Hirsh, R., Helsel, D., Cohn, T. & Gilroy, E. 1992. Handbook of Hydrology. s.l.: McGraw-Hill.
- LabSen (Laboratorio de Sensores e Instrumentación, AR). 2007. Medidores de caudal (en línea). Buenos Aires, AR. UTN. Consultado 20 ene. 2017. Disponible en: http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Caudal/Principios/Caudal_Sensores.pdf.
- López, L. JR. 2011. Calibración de instrumentos de medición de flujo para conductos cerrados. Tesis Ing. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 89 p.
- López A, PR. 2006. Tuberías de presión, y comparación de criterios de diseño entre el método racional (DARCY-WEISBACH), y el método empírico (HAZEN-WILLIAMS). Tesis Ing. Cuenca. Universidad de Cuenca, EC. 78p.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE); PSI (Programa Subsectorial de Irrigación, PE). 2004. Programa de Entrenamiento en Servicio – PES: Calibración de Estructuras Hidráulicas de Medición. s.l. s.n.t. p. 8-10.
- Mott, RL.1996. Mecánica de Fluidos Aplicada. Trad. CR, Cordero. 4 ed. Naucalpan de Juárez, MX.PHH. p. 23-156.
- Ortiz F, R. 2011. Pequeñas centrales hidroeléctricas. s.e. Bogotá, CO. Editora De la U. 381p.
- Palau E, CV. 2005. Aportaciones a la gestión de los sistemas de medición de caudal en redes de distribución de agua a presión. Tesis Dr. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. ES. 288p.

- Patiño, GC. 2003. Medidor Ultrasónico de efecto Doppler para tuberías. Ed. AL Ochoa. México. Comisión Nacional del Agua. 31p.
- PCE Ibérica, ES. 2016. Manual de instrucciones de uso Caudalímetro por ultrasonido PCE-TDS 100H. Versión 1.2. Albacete, ES. PCE-Iberica. 24p.
- Ramón, M.; López, G. M. 2007. Medición de caudal: Medición de caudal y transductores de caudal de fluidos (en línea). Buenos Aires, AR. UNLP. Consultado 23 ene. 2016. Disponible en https://www.academia.edu/11290179/Instrumentaci%C3%B3n_y_Comunicaciones_Industriales_MEDICI%C3%93N_DE_CAUDAL.
- Rolle, C. K. 2006. Termodinámica. Trad. V, Gonzales y Pozo. 6 ed. Naucalpan de Juárez, MX. Pearson.424p.
- Rosales P, IL. 2012.Propuesta de métodos para revisión, rehabilitación y diseño de redes de tuberías de agua potable. Tesis Dr. Ing. Civil Hidráulica. México D.F. MX. UNAM.440p.
- Saldarriaga, J. 2007. Hidráulica de tuberías: Abastecimiento de agua, redes, riegos. Ed. LJ Buitrago. Bogotá, CO. UNIANDES. 690p.
- Serrano, A. J. 2009. Proyecto de un sistema de abastecimiento de agua potable en Togo. Tesis Ing. Técnica Industrial Mecánica. Madrid, ES. Universidad Carlos III de Madrid. 132p

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO AGROLÓGICO DETALLADO PARA LA ELABORACIÓN DEL EXPEDIENTE TÉCNICO DEL PIP “RIEGO PRESURIZADO DEL SISTEMA DE IRRIGACIÓN PANGOA



PROYECTO ESPECIAL PICHIS

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS AGRICOLAS - PEPP

SOLICITANTE	:	PROYECTO RIEGO PARCELARIO SIP PANGOA
LUGAR	:	SAN RAMON – M3
DISTRITO	:	SAN MARTIN DE PANGOA
PROVINCIA	:	SATIPO
REGION	:	JUNIN
TIPO DE MUESTRA	:	AGUA
CODIGO LABORATORIO	:	003A – 2016
CODIGO DE CAMPO	:	M - 3

ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUA

pH	:	6.89
CONDUCTIVIDAD	:	83.63 us/cm
CARBONATO DE CALCIO	:	51.00 ppm
TURBIDEZ	:	3.38 NTU
SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN	:	3.18 ppm



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fla@lamolina.edu.pe N° 003796

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO
DE AGUA**

SOLICITANTE : CARLOS ALBERTO PAZ CARDENAS
PROYECTO : SISTEMA IRRIGACIÓN PANGOA - RIO SAN RAMON
PROCEDENCIA : San Martín de Pangoa , Satipo, Junín
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 24 de Octubre del 2017

N° LABORATORIO	3796
N° DE CAMPO	Agua
Turbiedad NTU	17.40
pH	6.88
Sólidos suspendidos mg/L	16.00
C.E dS/m	0.05

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
JEFE DE LABORATORIO



ANEXO 2

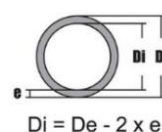
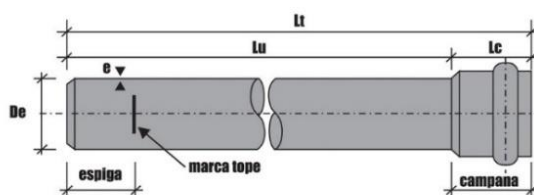
CATÁLOGO DE TUBOS Y CONEXIONES PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA – GERFOR

Gerfor

www.gerfor.com

TUBOS Y CONEXIONES PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

La Tubería GERFOR para redes de Alcantarillado y Drenaje está fabricada según NTP-ISO 4422-2: "Tubos y Conexiones de Poli (Cloruro de Vinilo) NO PLASTIFICADO (PVC-U) Para el abastecimiento de agua". Especificaciones. Parte 2.



$$Di = De - 2 \times e$$

Diámetro Nominal DN (mm)	Diámetro Exterior De (mm)	Longitud		CLASE 5		CLASE 7,5		CLASE 10		CLASE 15	
				PN 5		PN 7,5		PN 10		PN 15	
				SERIE 20		SERIE 13.3		SERIE 10		SERIE 6.6	
		Total Lt (m)	Útil Lu (m)	Espesor e (mm)	Peso (kg.)	Espesor e (mm)	Peso (kg.)	Espesor e (mm)	Peso (kg.)	Espesor e (mm)	Peso (kg.)
63	63	6.00	5.90	1.6	2.84	2.3	4.01	3.0	5.20	4.4	7.49
75	75	6.00	5.89	1.9	4.01	2.8	5.85	3.6	7.42	5.3	10.71
90	90	6.00	5.89	2.2	5.57	3.3	8.16	4.3	10.63	6.3	15.22
110	110	6.00	5.88	2.7	8.37	4.0	12.24	5.3	16.01	7.7	22.77
140	140	6.00	5.87	3.5	13.78	5.1	19.83	6.7	25.77	9.8	36.83
160	160	6.00	5.85	4.0	18.00	5.8	25.78	7.7	33.88	11.2	48.13
200	200	6.00	5.84	4.9	27.57	7.3	40.55	9.6	52.80	14.0	117.41
250	250	6.00	5.81	6.2	43.57	9.1	63.16	11.9	81.93	17.5	186.04

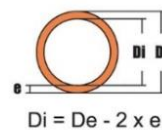
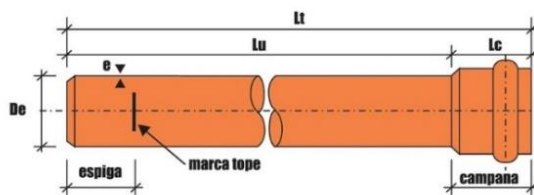
PROPIEDADES FÍSICAS

- Peso específico: 1,44 g/cm³ a 25°C
- Absorción de agua: < 40 g/m²
- Estabilidad dimensional a 150°C < 5%
- Coeficiente de dilatación: 0,06 - 0,08 mm/m/°C
- Inflamabilidad: Autoextinguible
- Rugosidad Absoluta K_s = 0,000 001 5 m
- Hazen-Williams C_{HW} = 150
- Coeficiente de fricción: $\Pi = 0,009$ Manning
- Punto Vicat: $\geq 80^\circ\text{C}$
- Resistencia a ácidos: Excelente
- Resistencia a álcalis: Excelente
- Resistencia a H₂SO₄: Excelente

Factor de seguridad 2.5

TUBOS Y CONEXIONES PARA INSTALACIONES DE ALCANTARILLADO Y DRENAJE

El tubo GERFOR para redes de Alcantarillado y Drenaje está fabricado según NTP-ISO 4435: 2005 "Tubos y Conexiones de Poli (Cloruro de Vinilo) NO PLASTIFICADO (PVC-U) Para sistemas de Drenaje y Alcantarillado".



$$Di = De - 2 \times e$$

Diámetro Nominal DN (mm)	Diámetro Exterior De (mm)	Longitud		S-25		S-20		S-16,7	
				SDR 51		SDR 41		SDR 34	
				SN 2		SN 4		SN 8	
		Total Lt (m)	Útil Lu (m)	Espesor e (mm)	Peso (kg.)	Espesor e (mm)	Peso (kg.)	Espesor e (mm)	Peso (kg.)
110	110	6,0	5,85	--	--	3,2	10,43	3,2	10,43
160	160	6,0	5,83	3,2	15,3	4,0	19,04	4,7	22,27
200	200	6,0	5,82	3,9	23,33	4,9	29,17	5,9	34,94
250	250	6,0	5,79	4,9	36,63	6,2	46,15	7,3	54,09

PROPIEDADES FÍSICAS

- Peso específico: 1,44 g/cm³ a 25°C
- Absorción de agua: < 40 g/m²
- Estabilidad dimensional a 150°C < 5%
- Coeficiente de dilatación térmica: 0,06 - 0,08 mm/m/°C
- Inflamabilidad: Autoextinguible
- Rugosidad Absoluta K_s = 0,000 001 5 m
- Coeficiente de fricción: $\Pi = 0,009$ Manning
- Punto Vicat: > 79°C
- Resistencia a ácidos: Excelente
- Resistencia a álcalis: Excelente
- Resistencia a H₂SO₄: Excelente

El valor SN se refiere a la rigidez nominal del anillo en kN/m² según la norma ISO 9969, SN 2 = 2 kN/m², SN 4 = 4 kN/m², SN 8 = 8 kN/m²
El valor SDR se refiere a la relación de la Dimensión Standard, SDR = 2 x S + 1

Calle 5 Mz. C Lt. 8, Urb. Praderas de Lurín, Lurín, Lima.
Telf.: (511) 640-2929 - Fax: (511) 430-1423 - E-mail: gerforperu@gerfor.com

ANEXO 3

CATÁLOGO DE VÁLVULAS HFD COMPUERTA GATE – GAY CON JUNTAS BRIDADAS Y EMBONE PARA PVC-U DN 140 – 400 MM PN 10-16 BAR PARA EL SISTEMA DE IRRIGACIÓN PANGOA



Válvulas

“Gate Way” para tuberías de PVC DN 50-300 PN 10-16 bar

Válvula de Compuerta PAM modelo “Gate Way” para tuberías de PVC

La válvula de compuerta de cierre elástico “Gate Way” con embone para tubería de PVC se fabrica según la norma EN 1074-1 e ISO 7259. De diseño liviano y construido en hierro dúctil, la válvula es muy resistente y duradera.

La válvula es apropiada para ser usada en redes de agua potable y servicios subterráneos.

El diámetro de las tuberías de PVC deberán cumplir las normas ISO 161/1 y EN 1452-2.



Principales Características

- Calidad certificada por el departamento técnico de Saint-Gobain PAM
- Pruebas en fábrica según normas ISO 7259 y EN 1074-2:
 - ✓ Torque Máximo de Operación (MOT):
1 x DN
 - ✓ Torque Mínimo de Fuerza (MST):
2 x DN
 - ✓ Prueba de resistencia: 250 ciclos
- Ensayos de presión hidráulica según ISO 5208:
 - ✓ Cuerpo: 1,5 PFA = 24 bar
 - ✓ Asiento: 1,1 PFA = 17,6 bar
- Su fabricación en hierro dúctil le otorga una elevada resistencia en relación con su peso
- Excelente resistencia a la corrosión debido a:
 - ✓ Revestimiento epóxico interno y externo con espesor mínimo de 250 µm
 - ✓ Orificios para los pernos cubiertos de adhesivo antioxidante
- Posibilidad de cambio del O’ring del vástago aún con la válvula en servicio (presión de agua)
- Amplio agujero de paso para un óptimo flujo
- Vástago de acero inoxidable de alta resistencia a la tracción y corrosión
- El vástago fabricado mediante el proceso de forjado en frío incrementa la vida útil de la válvula al eliminar las fisuras potenciales.

Opciones Disponibles

- Operación con caperuza
- Operación con volante
- Cierre en sentido horario (CC) y sentido anti-horario (ACC).

"Gate Way" BS 5163 PN 10/16 con juntas bridadas DN 50-300

Válvula de Compuerta PAM modelo "Gate Way" Serie BS 5163

La válvula de compuerta de cierre elástico Gate Way se fabrica según la norma BS EN 1074-2 y BS 5163-1. De diseño liviano y construido en hierro dúctil, la válvula es muy resistente y duradera.

La válvula es apropiada para ser usada en redes de agua potable y servicios subterráneos.



Principales Características

- Calidad certificada por el departamento de ingeniería de Saint-Gobain PAM
- Pruebas en fábrica según EN 1074-2 tipo B:
 - ✓ Torque Máximo de Operación (MOT):
1 x DN + 60 Nm
 - ✓ Torque Mínimo de Fuerza (MST):
5 x MOT + 300
(momento de flexión = 1500 Nm)
 - ✓ Prueba de resistencia: 250 ciclos
- Ensayos de presión hidráulica según ISO 5208:
 - ✓ Cuerpo: 1,5 PFA = 24 bar
 - ✓ Asiento: 1,1 PFA = 17,6 bar
- Su fabricación en hierro dúctil le otorga una elevada resistencia en relación con su peso
- Excelente resistencia a la corrosión debido a:
 - ✓ Revestimiento epóxico interno y externo con espesor mínimo de 250 µm
 - ✓ Orificios para los pernos cubiertos de adhesivo antioxidante
- Posibilidad de cambio del O'ring del vástago aún con la válvula en servicio (presión de agua)
- Amplio agujero de paso para un óptimo flujo
- Vástago de acero inoxidable de alta resistencia a la tracción y corrosión
- El vástago fabricado mediante el proceso de forjado en frío incrementa la vida útil de la válvula al eliminar las fisuras potenciales.
- Todos los materiales no metálicos son aprobados por el WRAS (Inglaterra) para agua potable (garantía de calidad alimentaria)
- Máxima Temperatura de Operación: 50 °C
- Taladrado de las bridas según BS EN 1092-2 PN16

Opciones Disponibles

- Operación con caperuza
- Operación con volante
- Operación con actuador eléctrico
- Cierre en sentido horario (CC) y sentido anti-horario (ACC)



VÁLVULA DE MARIPOSA EUROSTOP

Prestaciones

○ ¿POR QUÉ UNA VÁLVULA DE MARIPOSA?

Una válvula de mariposa se utiliza principalmente:

- Por su baja altura permitiendo su instalación en espacios reducidos.
- Por su maniobrabilidad por medio de mecanismos y / o actuadores.
- Como una válvula de seguridad.
- Para garantizar la estanquidad en la posición cerrada.
- Por su construcción simple, su bajo mantenimiento y su elevada fiabilidad.



○ ¿POR QUÉ LA VÁLVULA EUROSTOP?

Distancia entre bridas larga o serie 14

- La mariposa está alojada y protegida en el interior del cuerpo siendo una ventaja en cuanto a posibles daños originados en el transporte y montaje en la tubería.
- Fácil instalación: Bridas de conexión normalizadas por lo que no se hace necesario que la válvula sea centrada en la tubería para su correcto montaje tal y como ocurre en válvulas tipo wafer.



Con excentricidad



Sin excentricidad



Mariposa de doble excentricidad

- La excentricidad de la mariposa hace que se reduzca el área de contacto de la junta de estanquidad EPDM y su asiento, con lo que su compresión en la maniobra de apertura de la mariposa no existe, por tanto se reduce enormemente el envejecimiento de la junta.
- Reducción de los pares de maniobra en la apertura y cierre de la mariposa, mejorando la durabilidad de la junta de estanquidad.
- Reducción de la pérdida de carga en posición totalmente abierta al posicionarse la mariposa en una zona donde el flujo es menor.

Ventajas

E 1

- Excelente resistencia mecánica de la conexión árbol - mariposa - eje.
- Sustitución de la junta de estanquidad sin desmontar la válvula de la tubería.
- Línea de estanquidad no interrumpida.
- Reducción de la pérdida de carga en posición abierta.

E 2

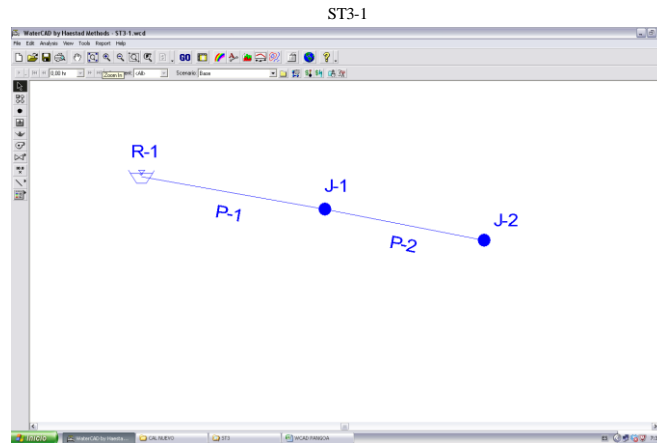
- Reducción del par de maniobra.
- Posibilidad de desmontaje de la junta de estanquidad.
- Reducción del rozamiento entre la junta y su asiento, en el inicio de la apertura.



E1 : primera excentricidad
E2 : segunda excentricidad

ANEXO 4

INFORME DE DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS TRONCALES Y RAMALES DEL CANAL PRINCIPAL SAN RAMÓN – MARGEN DERECHA SISTEMA DE IRRIGACIÓN PANGOA



PRESIONES Y CAUDALES DISPONIBLES

Label	Elevation (m)	Zone	Type	Base Flow (l/s)	Demand (Calculated) (l/s)	Calculated Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)
J-1	1,104.36	Zone	Demand	10.41	10.41	1,111.10	6.7
J-2	1,067.79	Zone	Demand	269.56	269.56	1,107.35	39.5

REPORTE DE TUBERIAS

Label	Length (m)	Diametro Interno (mm)	Material	Hazen-Williams C	Control Status	Discharge (l/s)	Upstream Structure Hydraulic Grade (m)	Downstream Structure Hydraulic Grade (m)	Pressure Pipe Headloss (m)	Headloss Gradient (m/km)	Velocity (m/s)
P-1	301.1	475.4	PVC	145	Open	279.97	1,112.23	1,111.10	1.13	3.75	1.58
P-2	642.2	428	PVC	145	Open	269.56	1,111.10	1,107.35	3.75	5.83	1.87

NODO INICIAL

NF	Elevation (m)	Zone	Inflow (l/s)	Calculated Hydraulic Grade (m)
R-1	1,112.23	Zone	-279.97	1,112.23

ANEXO 5

RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA TUBERÍAS Y NODOS CORRESPONDIENTE AL SUBTRONCAL 3-SUBRAMAL 11, 12 Y 13 – ESCENARIO INICIAL (MATERIAL=PVC, Q INICIAL= 280 M3/S, C=150 Y E=0.00000152M)

Progresiva	Datos de entrada					Darcy - Weisbach			Hazen - Williams			
	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	ø (mm)	Flow (l/s)	Hydraulic Grade (Stop) (m)	Hydraulic Grade (Start) (m)	Velocity (m/s)	Pressure (Stop) (m H2O)	Hydraulic Grade (Stop) (m)	Hydraulic Grade (Start) (m)	Pressure (Stop) (m H2O)
Subtronal 3												
0+550.00	561.7	R-1	J-2	475.4	279.9	1112.0	1113.9	1.6	7.66	1111.9	1113.9	7.52
0+568.50	18.5	J-2	J-3	428.0	279.9	1111.9	1112.0	2.0	8.91	1111.8	1111.9	8.76
0+675.00	106.5	J-3	J-4	428.0	264.4	1111.4	1111.9	1.8	25.46	1111.2	1111.8	25.27
0+781.70	107.7	J-4	J-5	428.0	264.4	1110.9	1111.4	1.8	17.40	1110.6	1111.2	17.17
0+897.30	115.1	J-5	J-6	428.0	264.4	1110.3	1110.9	1.8	17.63	1110.0	1110.6	17.35
1+082.70	185.5	J-6	J-7	428.0	248.8	1109.5	1110.3	1.7	35.84	1109.2	1110.0	35.50
1+128.60	46.8	J-7	J-8	428.0	248.8	1109.3	1109.5	1.7	33.42	1108.9	1109.2	33.06
1+233.40	103.9	J-8	J-9	428.0	248.8	1108.8	1109.3	1.7	40.08	1108.4	1108.9	39.68
1+452.00	219.5	J-9	J-10	428.0	248.8	1107.9	1108.8	1.7	33.10	1107.4	1108.4	32.63
1+520.00	67.1	J-10	J-11	428.0	248.8	1107.6	1107.9	1.7	35.12	1107.1	1107.4	34.63
1+804.00	284.1	J-11	J-12	417.4	248.8	1106.2	1107.6	1.8	55.97	1105.6	1107.1	55.36
1+863.10	60.1	J-12	J-13	417.4	248.8	1105.9	1106.2	1.8	51.23	1105.2	1105.6	50.60
2+116.20	252.2	J-13	PRV-1	417.4	248.8	1104.6	1105.9	1.8	62.24	1103.9	1105.2	61.51
2+201.70	85.5	PRV-1	J-15	428.0	248.8	1041.9	1042.3	1.7	11.85	1041.9	1042.3	11.82
2+252.00	50.9	J-15	J-16	428.0	248.8	1041.7	1041.9	1.7	7.60	1041.6	1041.9	7.55
2+337.40	84.9	J-16	J-17	428.0	248.8	1041.3	1041.7	1.7	14.32	1041.2	1041.6	14.25
2+384.80	48.4	J-17	J-18	428.0	248.8	1041.1	1041.3	1.7	9.16	1041.0	1041.2	9.07
2+445.00	59.3	J-18	J-19	428.0	248.8	1040.8	1041.1	1.7	17.18	1040.7	1041.0	17.07
2+481.90	36.7	J-19	J-20	428.0	248.8	1040.7	1040.8	1.7	12.22	1040.5	1040.7	12.10
2+485.80	9.1	J-20	J-21	380.4	248.8	1040.6	1040.7	2.2	12.14	1040.5	1040.5	12.01
2+490.80	169.3	J-21	J-22	380.4	233.3	1039.4	1040.6	2.1	27.09	1039.2	1040.5	26.86
2+660.00	72.4	J-22	J-23	380.4	217.7	1039.0	1039.4	1.9	27.46	1038.7	1039.2	27.20
2+732.40	54.4	J-23	J-24	380.4	217.7	1038.7	1039.0	1.9	22.39	1038.4	1038.7	22.10
2+785.70	143.2	J-24	J-25	380.4	217.7	1037.8	1038.7	1.9	31.62	1037.4	1038.4	31.26
2+974.60	44.6	J-25	J-26	371.0	217.7	1037.5	1037.8	2.0	33.00	1037.1	1037.4	32.62
3+029.00	55.4	J-26	J-27	371.0	217.7	1037.1	1037.5	2.0	32.50	1036.7	1037.1	32.08
3+429.00	399.0	J-27	J-28	371.0	217.7	1034.4	1037.1	2.0	59.33	1033.7	1036.7	58.70
3+486.20	58.2	J-28	J-29	371.0	217.7	1034.0	1034.4	2.0	53.91	1033.3	1033.7	53.25
3+514.10	27.0	J-29	J-30	371.0	217.7	1033.8	1034.0	2.0	54.94	1033.1	1033.3	54.26
3+528.90	14.8	J-30	J-31	371.0	202.2	1033.7	1033.8	1.9	56.07	1033.0	1033.1	55.38
3+656.00	127.2	J-31	J-32	371.0	186.6	1033.0	1033.7	1.7	61.56	1032.3	1033.0	60.82
3+760.00	105.3	J-32	J-33	371.0	186.6	1032.5	1033.0	1.7	58.20	1031.7	1032.3	57.42
3+824.80	65.1	J-33	J-34	371.0	93.3	1032.4	1032.5	0.9	54.21	1031.6	1031.7	53.43
3+880.00	53.2	J-34	PRV-2	371.0	93.3	1032.3	1032.4	0.9	57.11	1031.5	1031.6	56.32
4+089.30	211.4	PRV-2	J-36	291.0	93.3	974.1	975.1	1.4	11.05	974.0	975.1	10.98
4+138.30	50.0	J-36	J-37	291.0	93.3	973.9	974.1	1.4	8.63	973.8	974.0	8.55
4+154.80	15.6	J-37	J-38	291.0	93.3	973.8	973.9	1.4	9.46	973.7	973.8	9.37
4+230.00	75.2	J-38	J-39	291.0	77.8	973.5	973.8	1.2	11.87	973.4	973.7	11.76
4+507.30	277.7	J-39	J-40	231.8	62.2	971.7	973.5	1.5	25.43	971.4	973.4	25.20
4+648.00	141.7	J-40	J-41	231.8	62.2	970.7	971.7	1.5	17.93	970.4	971.4	17.64
4+684.20	35.3	J-41	J-42	231.8	62.2	970.5	970.7	1.5	19.71	970.2	970.4	19.40
4+775.20	91.0	J-42	J-43	231.8	46.7	970.1	970.5	1.1	22.63	969.8	970.2	22.30
4+829.20	55.0	J-43	J-44	231.8	46.7	969.9	970.1	1.1	20.80	969.6	969.8	20.46
4+850.00	19.9	J-44	J-45	231.8	46.7	969.8	969.9	1.1	21.52	969.5	969.6	21.18
4+979.20	129.3	J-45	J-46	231.8	31.1	969.6	969.8	0.7	29.58	969.2	969.5	29.22
5+006.00	26.6	J-46	J-47	231.8	31.1	969.5	969.6	0.7	29.40	969.2	969.2	29.05
5+041.80	37.1	J-47	J-48	185.4	31.1	969.3	969.5	1.2	26.14	968.9	969.2	25.78
5+146.70	103.9	J-48	J-49	185.4	31.1	968.7	969.3	1.2	32.26	968.3	968.9	31.86
5+238.50	92.1	J-49	J-50	185.4	15.6	968.6	968.7	0.6	34.88	968.2	968.3	34.49
5+387.80	149.7	J-50	J-51	185.4	15.6	968.3	968.6	0.6	28.03	967.9	968.2	27.63
5+727.60	340.1	J-51	J-52	185.4	15.6	967.8	968.3	0.6	46.05	967.4	967.9	45.64

Continúa...

Progresiva	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	ø (mm)	Flow (l/s)	Hydraulic Grade (Stop) (m)	Hydraulic Grade (Start) (m)	Velocity (m/s)	Pressure (Stop) (m H2O)	Hydraulic Grade (Stop) (m)	Hydraulic Grade (Start) (m)	Pressure (Stop) (m H2O)
Subramal 11												
0+005.00	5.0	J-33	J-53	237.6	93.3	1032.4	1032.5	2.1	66.88	1031.7	1031.7	66.10
0+020.00	15.0	J-53	PRV-3	237.6	77.8	1032.3	1032.4	1.8	68.00	1031.5	1031.7	67.20
0+181.60	162.2	PRV-3	J-54	237.6	77.8	962.7	964.2	1.8	12.09	962.6	964.2	11.99
0+248.80	68.7	J-54	J-55	237.6	62.2	962.3	962.7	1.4	13.62	962.2	962.6	13.49
0+266.20	17.3	J-55	J-56	237.6	62.2	962.2	962.3	1.4	12.17	962.1	962.2	12.03
0+309.50	42.8	J-56	J-57	237.6	62.2	961.9	962.2	1.4	10.20	961.8	962.1	10.04
0+532.40	224.1	J-57	J-58	190.2	62.2	958.0	961.9	2.2	24.58	957.6	961.8	24.13
0+599.40	63.1	J-58	J-59	190.2	62.2	956.9	958.0	2.2	11.03	956.4	957.6	10.50
0+697.30	3.8	J-59	J-60	190.2	62.2	956.8	956.9	2.2	11.37	956.3	956.4	10.84
0+793.60	98.1	J-60	J-61	190.2	46.7	955.8	956.8	1.6	26.73	955.2	956.3	26.13
0+980.00	96.5	J-61	J-62	190.2	46.7	954.8	955.8	1.6	9.43	954.2	955.2	8.76
1+107.90	186.5	J-62	J-63	190.2	46.7	952.9	954.8	1.6	12.84	952.1	954.2	12.05
1+107.90	128.6	J-63	J-64	190.2	46.7	951.6	952.9	1.6	23.99	950.7	952.1	23.11
1+171.90	64.0	J-64	J-65	185.4	31.1	951.2	951.6	1.2	33.02	950.3	950.7	32.12
1+215.50	43.2	J-65	J-66	185.4	31.1	950.9	951.2	1.2	26.59	950.0	950.3	25.68
1+350.90	141.4	J-66	J-67	185.4	31.1	950.2	950.9	1.2	41.09	949.2	950.0	40.14
1+446.90	90.8	J-67	J-68	185.4	31.1	949.6	950.2	1.2	27.35	948.7	949.2	26.38
1+493.20	46.4	J-68	J-69	185.4	31.1	949.4	949.6	1.2	30.67	948.4	948.7	29.68
1+586.20	93.0	J-69	J-70	185.4	31.1	948.9	949.4	1.2	19.66	947.8	948.4	18.65
1+736.60	150.4	J-70	J-71	185.4	31.1	948.0	948.9	1.2	22.76	947.0	947.8	21.70
1+779.60	43.1	J-71	J-72	185.4	31.1	947.8	948.0	1.2	19.85	946.7	947.0	18.78
2+026.90	247.9	J-72	J-73	185.4	31.1	946.4	947.8	1.2	26.54	945.2	946.7	25.40
2+129.50	102.7	J-73	J-74	185.4	31.1	945.8	946.4	1.2	27.64	944.6	945.2	26.47
2+487.70	358.4	J-74	J-75	185.4	15.6	945.2	945.8	0.6	43.31	944.0	944.6	42.13
Subramal 12												
0+620.00	621.4	J-45	J-76	185.4	15.6	968.8	969.8	0.6	43.20	968.5	969.5	42.85
0+740.00	120.0	J-76	J-77	185.4	15.6	968.6	968.8	0.6	28.09	968.3	968.5	27.73
Subramal 13												
0+040.30	41.2	J-52	J-78	185.4	15.6	967.7	967.8	0.6	43.48	967.3	967.4	43.07
0+106.90	65.7	J-78	J-79	180.8	15.6	967.6	967.7	0.6	49.89	967.2	967.3	49.48
0+154.00	48.0	J-79	J-80	180.8	15.6	967.5	967.6	0.6	45.59	967.1	967.2	45.17
0+407.10	253.1	J-80	J-81	180.8	15.6	967.1	967.5	0.6	44.92	966.6	967.1	44.50
0+440.00	32.0	J-81	J-82	180.8	15.6	967.0	967.1	0.6	46.87	966.6	966.6	46.44

Continúa...

Progresiva	Datos de entrada			Hazen - Williams		Darcy - Weisbach		Estructura
	Label	Elevation (m)	Demand (l/s)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)	
Subtronal 3								
0+550.00	J-2	1104.3	0.0	1111.87	7.52	1112.01	7.66	Reduccion
0+568.50	J-3	1103.0	15.6	1111.76	8.76	1111.91	8.91	Hidrante (H)
0+675.00	J-4	1085.9	0.0	1111.2	25.27	1111.39	25.46	Purga (P)
0+781.70	J-5	1093.4	0.0	1110.63	17.17	1110.87	17.40	Aire (A)
0+897.30	J-6	1092.6	15.6	1110.02	17.35	1110.30	17.63	Hidrante (H)
1+082.70	J-7	1073.6	0.0	1109.15	35.50	1109.49	35.84	Purga (P)
1+128.60	J-8	1075.8	0.0	1108.93	33.06	1109.29	33.42	Aire (A)
1+233.40	J-9	1068.7	0.0	1108.43	39.68	1108.83	40.08	Purga (P)
1+452.00	J-10	1074.7	0.0	1107.4	32.63	1107.87	33.10	Aire (A)
1+520.00	J-11	1072.4	0.0	1107.08	34.63	1107.58	35.12	embone
1+804.00	J-12	1050.1	0.0	1105.56	55.36	1106.17	55.97	Purga (P)
1+863.10	J-13	1054.5	0.0	1105.24	50.60	1105.87	51.23	Aire (A)
2+201.70	J-15	1030.0	0.0	1041.86	11.82	1041.89	11.85	Purga (P)
2+252.00	J-16	1034.1	0.0	1041.62	7.55	1041.66	7.60	Aire (A)
2+337.40	J-17	1026.9	0.0	1041.21	14.25	1041.29	14.32	Purga (P)
2+384.80	J-18	1031.9	0.0	1040.99	9.07	1041.08	9.16	Aire (A)
2+445.00	J-19	1023.6	0.0	1040.71	17.07	1040.82	17.18	Purga (P)
2+481.90	J-20	1028.4	0.0	1040.53	12.10	1040.66	12.22	Aire (A)
2+485.80	J-21	1028.4	15.6	1040.46	12.01	1040.59	12.14	Hidrante (H)
2+490.80	J-22	1012.3	15.6	1039.2	26.86	1039.42	27.09	Hidrante (H)
2+660.00	J-23	1011.5	0.0	1038.72	27.20	1038.98	27.46	Purga (P)
2+732.40	J-24	1016.2	0.0	1038.37	22.10	1038.65	22.39	Aire (A)
2+785.70	J-25	1006.1	0.0	1037.43	31.26	1037.79	31.62	embone
2+974.60	J-26	1004.4	0.0	1037.1	32.62	1037.48	33.00	Purga (P)
3+029.00	J-27	1004.5	0.0	1036.69	32.08	1037.10	32.50	Aire (A)
3+429.00	J-28	974.9	0.0	1033.73	58.70	1034.37	59.33	Purga (P)
3+486.20	J-29	980.0	0.0	1033.3	53.25	1033.97	53.91	Aire (A)
3+514.10	J-30	978.7	15.6	1033.11	54.26	1033.79	54.94	Hidrante (H)
3+528.90	J-31	977.5	15.6	1033.01	55.38	1033.70	56.07	Hidrante (H)
3+656.00	J-32	971.4	0.0	1032.3	60.82	1033.04	61.56	Purga (P)
3+760.00	J-33	974.2	0.0	1031.72	57.42	1032.50	58.20	Tee (SR-11)
3+824.80	J-34	978.1	0.0	1031.62	53.43	1032.40	54.21	Aire (A)
4+089.30	J-36	963.0	0.0	974.04	10.98	974.11	11.05	Purga (P)
4+138.30	J-37	965.2	0.0	973.79	8.55	973.87	8.63	Aire (A)
4+154.80	J-38	964.3	15.6	973.71	9.37	973.80	9.46	Hidrante (H)
4+230.00	J-39	961.7	15.6	973.44	11.76	973.54	11.87	Hidrante (H)
4+507.30	J-40	946.2	0.0	971.44	25.20	971.67	25.43	Purga (P)
4+648.00	J-41	952.8	0.0	970.42	17.64	970.71	17.93	Aire (A)
4+684.20	J-42	950.7	15.6	970.17	19.40	970.48	19.71	Hidrante (H)
4+775.20	J-43	947.4	0.0	969.79	22.30	970.11	22.63	Purga (P)
4+829.20	J-44	949.1	0.0	969.55	20.46	969.89	20.80	Aire (A)
4+850.00	J-45	948.3	0.0	969.47	21.18	969.81	21.52	Tee (SR-12)
4+979.20	J-46	939.9	0.0	969.21	29.22	969.56	29.58	Purga (P)
5+006.00	J-47	940.1	0.0	969.16	29.05	969.51	29.40	reduccion
5+041.80	J-48	943.1	0.0	968.94	25.78	969.31	26.14	Aire (A)
5+146.70	J-49	936.4	15.6	968.33	31.86	968.72	32.26	Hidrante (H)
5+238.50	J-50	933.6	0.0	968.18	34.49	968.57	34.88	Purga (P)
5+387.80	J-51	940.2	0.0	967.93	27.63	968.33	28.03	Aire (A)
5+727.60	J-52	921.6	0.0	967.37	45.64	967.78	46.05	P+embone (SR13)

Continúa...

Progresiva	Label	Elevation (m)	Demand (l/s)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)	Estructura
Subramal 11 (SR11)								
0+005.00	J-53	965.4	15.6	1031.65	66.10	1032.44	66.88	Hidrante (H)
0+181.60	J-54	950.6	15.6	962.6	11.99	962.71	12.09	Hidrante (H)
0+248.80	J-55	948.7	0.0	962.16	13.49	962.30	13.62	Purga (P)
0+266.20	J-56	950.0	0.0	962.05	12.03	962.19	12.17	reduccion
0+309.50	J-57	951.7	0.0	961.78	10.04	961.94	10.20	Aire (A)
0+532.40	J-58	933.4	0.0	957.56	24.13	958.01	24.58	Purga (P)
0+599.40	J-59	945.9	0.0	956.37	10.50	956.90	11.03	Aire (A)
0+697.30	J-60	945.4	15.6	956.3	10.84	956.84	11.37	Hidrante (H)
0+793.60	J-61	929.0	0.0	955.22	26.13	955.82	26.73	Purga (P)
0+980.00	J-62	945.4	0.0	954.15	8.76	954.82	9.43	Aire (A)
1+107.90	J-63	940.0	0.0	952.09	12.05	952.88	12.84	embone
1+107.90	J-64	927.5	15.6	950.66	23.11	951.55	23.99	Hidrante (H)
1+171.90	J-65	918.1	0.0	950.29	32.12	951.19	33.02	Purga (P)
1+215.50	J-66	924.3	0.0	950.03	25.68	950.94	26.59	Aire (A)
1+350.90	J-67	909.0	0.0	949.2	40.14	950.15	41.09	Purga (P)
1+446.90	J-68	922.2	0.0	948.66	26.38	949.64	27.35	Aire (A)
1+493.20	J-69	918.6	0.0	948.38	29.68	949.37	30.67	Purga (P)
1+586.20	J-70	929.2	0.0	947.83	18.65	948.85	19.66	Aire (A)
1+736.60	J-71	925.2	0.0	946.95	21.70	948.01	22.76	Purga (P)
1+779.60	J-72	927.9	0.0	946.69	18.78	947.76	19.85	Aire (A)
2+026.90	J-73	919.8	0.0	945.23	25.40	946.37	26.54	Purga (P)
2+129.50	J-74	918.1	15.6	944.62	26.47	945.79	27.64	Hidrante (H)
2+487.70	J-75	901.8	15.6	944.03	42.13	945.21	43.31	Hidrante (H)
Subramal 12 (SR12)								
0+620.00	J-76	925.5	0.0	968.45	42.85	968.81	43.20	Purga (P)
0+740.00	J-77	940.5	15.6	968.26	27.73	968.62	28.09	Hidrante (H)
Subramal 13 (SR13)								
0+040.30	J-78	924.2	0.0	967.31	43.07	967.72	43.48	Aire (A)
0+106.90	J-79	917.6	0.0	967.19	49.48	967.60	49.89	Purga (P)
0+154.00	J-80	921.8	0.0	967.1	45.17	967.51	45.59	Aire (A)
0+407.10	J-81	922.0	0.0	966.63	44.50	967.05	44.92	Aire (A)
0+440.00	J-82	920.0	15.6	966.57	46.44	966.99	46.87	Hidrante (H)

ANEXO 6

RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA TUBERÍAS Y NODOS CORRESPONDIENTE AL SUBTRONCAL 3-SUBRAMAL 11, 12 Y 13 – ESCENARIO EN CAMPO (MATERIAL=PVC, Q INICIAL= 186.6 M3/S, C=150 Y E=0.0000152M)

Progresiva	Datos de entrada					Hydraulic Grade (Stop) (m)	Hydraulic Grade (Start) (m)	Velocity (m/s)	Pressure (Stop) (m H2O)	Darcy - Weisbach		
	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	ø (mm)	Flow (L/s)					Hydraulic Grade (Stop) (m)	Hydraulic Grade (Start) (m)	Pressure (Stop) (m H2O)
Subtronal 3												
0+550.00	561.7	R-1	J-2	475.4	186.6	1112.9	1113.9	1.1	8.56	1113.0	1113.9	8.62
0+568.50	18.5	J-2	J-3	428.0	186.6	1112.9	1112.9	1.3	9.86	1112.9	1113.0	9.92
0+675.00	106.49	J-3	J-4	428.0	186.6	1112.6	1112.9	1.3	26.64	1112.7	1112.9	26.72
0+781.70	107.68	J-4	J-5	428.0	186.6	1112.3	1112.6	1.3	18.80	1112.4	1112.7	18.91
0+897.30	115.07	J-5	J-6	428.0	186.6	1112.0	1112.3	1.3	19.27	1112.1	1112.4	19.4
1+082.70	185.51	J-6	J-7	428.0	186.6	1111.4	1112.0	1.3	37.78	1111.6	1112.1	37.94
1+128.60	46.82	J-7	J-8	428.0	186.6	1111.3	1111.4	1.3	35.44	1111.5	1111.6	35.6
1+233.40	103.9	J-8	J-9	428.0	186.6	1111.0	1111.3	1.3	42.26	1111.2	1111.5	42.45
1+452.00	219.5	J-9	J-10	428.0	186.6	1110.4	1111.0	1.3	35.64	1110.6	1111.2	35.87
1+520.00	67.1	J-10	J-11	428.0	186.6	1110.2	1110.4	1.3	37.77	1110.5	1110.6	38.01
1+804.00	284.14	J-11	J-12	417.4	186.6	1109.3	1110.2	1.4	59.13	1109.6	1110.5	59.42
1+863.10	60.07	J-12	J-13	417.4	186.6	1109.2	1109.3	1.4	54.50	1109.5	1109.6	54.81
2+116.20	252.19	J-13	PRV-1	417.4	186.6	1108.4	1109.2	1.4	65.96	1108.7	1109.5	66.33
2+201.70	85.54	PRV-1	J-15	428.0	186.6	1042.0	1042.3	1.3	11.99	1042.0	1042.3	12
2+252.00	50.88	J-15	J-16	428.0	186.6	1041.9	1042.0	1.3	7.82	1041.9	1042.0	7.84
2+337.40	84.94	J-16	J-17	428.0	186.6	1041.7	1041.9	1.3	14.68	1041.7	1041.9	14.72
2+384.80	48.35	J-17	J-18	428.0	186.6	1041.5	1041.7	1.3	9.59	1041.6	1041.7	9.64
2+445.00	59.28	J-18	J-19	428.0	186.6	1041.4	1041.5	1.3	17.71	1041.4	1041.6	17.77
2+481.90	36.67	J-19	J-20	428.0	186.6	1041.3	1041.4	1.3	12.81	1041.3	1041.4	12.88
2+485.80	9.12	J-20	J-21	380.4	186.6	1041.2	1041.3	1.6	12.76	1041.3	1041.3	12.83
2+490.80	169.25	J-21	J-22	380.4	186.6	1040.4	1041.2	1.6	28.03	1040.5	1041.3	28.16
2+660.00	72.42	J-22	J-23	380.4	171.1	1040.1	1040.4	1.5	28.54	1040.2	1040.5	28.69
2+732.40	54.41	J-23	J-24	380.4	171.1	1039.8	1040.1	1.5	23.57	1040.0	1040.2	23.74
2+785.70	143.2	J-24	J-25	380.4	171.1	1039.2	1039.8	1.5	33.07	1039.5	1040.0	33.28
2+974.60	44.64	J-25	J-26	371.0	171.1	1039.0	1039.2	1.6	34.55	1039.3	1039.5	34.77
3+029.00	55.41	J-26	J-27	371.0	171.1	1038.8	1039.0	1.6	34.15	1039.0	1039.3	34.4
3+429.00	399.03	J-27	J-28	371.0	171.1	1036.9	1038.8	1.6	61.83	1037.3	1039.0	62.2
3+486.20	58.15	J-28	J-29	371.0	171.1	1036.6	1036.9	1.6	56.53	1037.0	1037.3	56.93
3+514.10	26.96	J-29	J-30	371.0	171.1	1036.5	1036.6	1.6	57.61	1036.9	1037.0	58.02
3+528.90	14.78	J-30	J-31	371.0	171.1	1036.4	1036.5	1.6	58.76	1036.8	1036.9	59.17
3+656.00	127.16	J-31	J-32	371.0	171.1	1035.8	1036.4	1.6	64.31	1036.3	1036.8	64.76
3+760.00	105.31	J-32	J-33	371.0	171.1	1035.3	1035.8	1.6	61.00	1035.8	1036.3	61.48
3+824.80	65.08	J-33	J-34	371.0	62.2	1035.3	1035.3	0.6	57.06	1035.7	1035.8	57.54
3+880.00	53.18	J-34	PRV-2	371.0	62.2	1035.2	1035.3	0.6	59.99	1035.7	1035.7	60.48
4+089.30	211.37	PRV-2	J-36	291.0	62.2	974.6	975.1	0.9	11.55	974.6	975.1	11.57
4+138.30	49.96	J-36	J-37	291.0	62.2	974.5	974.6	0.9	9.24	974.5	974.6	9.27
4+154.80	15.55	J-37	J-38	291.0	62.2	974.4	974.5	0.9	10.10	974.5	974.5	10.14
4+230.00	75.23	J-38	J-39	291.0	46.7	974.3	974.4	0.7	12.66	974.4	974.5	12.7
4+507.30	277.71	J-39	J-40	231.8	46.7	973.2	974.3	1.1	26.92	973.3	974.4	27.02
4+648.00	141.7	J-40	J-41	231.8	31.1	972.9	973.2	0.7	20.09	973.0	973.3	20.2
4+684.20	35.3	J-41	J-42	231.8	31.1	972.8	972.9	0.7	22.04	972.9	973.0	22.15
4+775.20	91.02	J-42	J-43	231.8	15.6	972.8	972.8	0.4	25.27	972.9	972.9	25.38
4+829.20	54.98	J-43	J-44	231.8	15.6	972.7	972.8	0.4	23.64	972.8	972.9	23.75
4+850.00	19.89	J-44	J-45	231.8	15.6	972.7	972.7	0.4	24.42	972.8	972.8	24.53
4+979.20	129.31	J-45	J-46	231.8	0.0	820.2	972.7	0.0	-119.50	820.1	972.8	-119.6
5+006.00	26.59	J-46	J-47	231.8	0.0	820.2	820.2	0.0	-119.62	820.1	820.1	-119.72
5+041.80	37.08	J-47	J-48	185.4	0.0	820.2	820.2	0.0	-122.68	820.1	820.1	-122.77
5+146.70	103.89	J-48	J-49	185.4	0.0	820.2	820.2	0.0	-115.98	820.1	820.1	-116.08
5+238.50	92.09	J-49	J-50	185.4	0.0	820.2	820.2	0.0	-113.21	820.1	820.1	-113.3
5+387.80	149.68	J-50	J-51	185.4	0.0	820.2	820.2	0.0	-119.81	820.1	820.1	-119.91
5+727.60	340.05	J-51	J-52	185.4	0.0	820.2	820.2	0.0	-101.25	820.1	820.1	-101.35

Continúa...

Progresiva	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	ø (mm)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (Stop) (m)	Hydraulic Grade (Start) (m)	Velocity (m/s)	Pressure (Stop) (m H2O)	Hydraulic Grade (Stop) (m)	Hydraulic Grade (Start) (m)	Pressure (Stop) (m H2O)
Subramal 11												
0+005.00	4.96	J-33	J-53	237.6	108.9	1035.2	1035.3	2.5	69.65	1035.7	1035.8	70.14
0+020.00	15.00	J-53	PRV-3	237.6	108.9	1034.9	1035.2	2.5	70.63	1035.5	1035.7	71.15
0+181.60	162.17	PRV-3	J-54	237.6	108.9	961.3	964.2	2.5	10.64	961.5	964.2	10.86
0+248.80	68.73	J-54	J-55	237.6	108.9	960.0	961.3	2.5	11.34	960.3	961.5	11.65
0+266.20	17.32	J-55	J-56	237.6	93.3	959.8	960.0	2.1	9.76	960.1	960.3	10.09
0+309.50	42.84	J-56	J-57	237.6	93.3	959.2	959.8	2.1	7.47	959.6	960.1	7.84
0+532.40	224.05	J-57	J-58	190.2	93.3	950.3	959.2	3.3	16.85	951.3	959.6	17.91
0+599.40	63.14	J-58	J-59	190.2	93.3	947.7	950.3	3.3	1.89	949.0	951.3	3.15
0+697.30	3.80	J-59	J-60	190.2	93.3	947.6	947.7	3.3	2.15	948.9	949.0	3.42
0+793.60	98.12	J-60	J-61	190.2	93.3	943.7	947.6	3.3	14.62	945.3	948.9	16.19
0+980.00	96.53	J-61	J-62	190.2	93.3	939.8	943.7	3.3	-5.54	941.7	945.3	-3.66
1+107.90	186.51	J-62	J-63	190.2	93.3	932.4	939.8	3.3	-7.62	934.8	941.7	-5.16
1+107.90	128.60	J-63	J-64	190.2	93.3	927.3	932.4	3.3	-0.26	930.1	934.8	2.59
1+171.90	64.02	J-64	J-65	185.4	77.8	925.2	927.3	2.9	7.07	928.2	930.1	10.08
1+215.50	43.23	J-65	J-66	185.4	62.2	924.3	925.2	2.3	-0.04	927.3	928.2	3.03
1+350.90	141.37	J-66	J-67	185.4	62.2	921.2	924.3	2.3	12.25	924.5	927.3	15.54
1+446.90	90.83	J-67	J-68	185.4	46.7	920.1	921.2	1.7	-2.12	923.5	924.5	1.24
1+493.20	46.44	J-68	J-69	185.4	46.7	919.5	920.1	1.7	0.88	922.9	923.5	4.28
1+586.20	92.95	J-69	J-70	185.4	31.1	919.0	919.5	1.2	-10.15	922.4	922.9	-6.73
1+736.60	150.40	J-70	J-71	185.4	31.1	918.1	919.0	1.2	-7.1	921.6	922.4	-3.64
1+779.60	43.07	J-71	J-72	185.4	31.1	917.8	918.1	1.2	-10.02	921.3	921.6	-6.54
2+026.90	247.89	J-72	J-73	185.4	31.1	916.4	917.8	1.2	-3.41	919.9	921.3	0.14
2+129.50	102.70	J-73	J-74	185.4	31.1	915.8	916.4	1.2	-2.34	919.3	919.9	1.24
2+487.70	358.35	J-74	J-75	185.4	15.6	915.2	915.8	0.6	13.33	918.8	919.3	16.91
Subramal 12												
0+620.00	621.4	J-45	J-76	185.4	15.6	971.7	972.7	0.58	46.09	971.8	972.8	46.22
0+740.00	120.0	J-76	J-77	185.4	0.0	971.7	971.7	0	31.17	971.8	971.8	31.3
Subramal 13												
0+040.30	41.2	J-52	J-78	185.4	0.0	820.2	820.2	0	-103.76	820.1	820.1	-103.85
0+106.90	65.7	J-78	J-79	180.8	0.0	820.2	820.2	0	-97.23	820.1	820.1	-97.32
0+154.00	48.0	J-79	J-80	180.8	0.0	820.2	820.2	0	-101.44	820.1	820.1	-101.54
0+407.10	253.1	J-80	J-81	180.8	0.0	820.2	820.2	0	-101.65	820.1	820.1	-101.75
0+440.00	32.0	J-81	J-82	180.8	0.0	820.2	820.2	0	-99.64	820.1	820.1	-99.74

Continúa...

Progresiva	Datos de entrada			Hazen - Williams		Darcy - Weisbach		Estructura
	Label	Elevation (m)	Demand (l/s)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)	
Subtroneal 3								
0+550.00	J-2	1104.3	0	1112.9	8.56	1113.0	8.62	Reduccion
0+568.50	J-3	1103.0	0	1112.9	9.86	1112.9	9.92	Hidrante (H)
0+675.00	J-4	1085.9	0	1112.6	26.64	1112.7	26.72	Purga (P)
0+781.70	J-5	1093.4	0	1112.3	18.8	1112.4	18.91	Aire (A)
0+897.30	J-6	1092.6	0	1112.0	19.27	1112.1	19.4	Hidrante (H)
1+082.70	J-7	1073.6	0	1111.4	37.78	1111.6	37.94	Purga (P)
1+128.60	J-8	1075.8	0	1111.3	35.44	1111.5	35.6	Aire (A)
1+233.40	J-9	1068.7	0	1111.0	42.26	1111.2	42.45	Purga (P)
1+452.00	J-10	1074.7	0	1110.4	35.64	1110.6	35.87	Aire (A)
1+520.00	J-11	1072.4	0	1110.2	37.77	1110.5	38.01	embone
1+804.00	J-12	1050.1	0	1109.3	59.13	1109.6	59.42	Purga (P)
1+863.10	J-13	1054.5	0	1109.2	54.5	1109.5	54.81	Aire (A)
2+201.70	J-15	1030.0	0	1042.0	11.99	1042.0	12	Purga (P)
2+252.00	J-16	1034.1	0	1041.9	7.82	1041.9	7.84	Aire (A)
2+337.40	J-17	1026.9	0	1041.7	14.68	1041.7	14.72	Purga (P)
2+384.80	J-18	1031.9	0	1041.5	9.59	1041.6	9.64	Aire (A)
2+445.00	J-19	1023.6	0	1041.4	17.71	1041.4	17.77	Purga (P)
2+481.90	J-20	1028.4	0	1041.3	12.81	1041.3	12.88	Aire (A)
2+485.80	J-21	1028.4	0	1041.2	12.76	1041.3	12.83	Hidrante (H)
2+490.80	J-22	1012.3	15.55	1040.4	28.03	1040.5	28.16	Hidrante (H)
2+660.00	J-23	1011.5	0	1040.1	28.54	1040.2	28.69	Purga (P)
2+732.40	J-24	1016.2	0	1039.8	23.57	1040.0	23.74	Aire (A)
2+785.70	J-25	1006.1	0	1039.2	33.07	1039.5	33.28	embone
2+974.60	J-26	1004.4	0	1039.0	34.55	1039.3	34.77	Purga (P)
3+029.00	J-27	1004.5	0	1038.8	34.15	1039.0	34.4	Aire (A)
3+429.00	J-28	974.9	0	1036.9	61.83	1037.3	62.2	Purga (P)
3+486.20	J-29	980.0	0	1036.6	56.53	1037.0	56.93	Aire (A)
3+514.10	J-30	978.7	0	1036.5	57.61	1036.9	58.02	Hidrante (H)
3+528.90	J-31	977.5	0	1036.4	58.76	1036.8	59.17	Hidrante (H)
3+656.00	J-32	971.4	0	1035.8	64.31	1036.3	64.76	Purga (P)
3+760.00	J-33	974.2	0	1035.3	61	1035.8	61.48	Tee (SR-11)
3+824.80	J-34	978.1	0	1035.3	57.06	1035.7	57.54	Aire (A)
4+089.30	J-36	963.0	0	974.6	11.55	974.6	11.57	Purga (P)
4+138.30	J-37	965.2	0	974.5	9.24	974.5	9.27	Aire (A)
4+154.80	J-38	964.3	15.55	974.4	10.1	974.5	10.14	Hidrante (H)
4+230.00	J-39	961.7	0	974.3	12.66	974.4	12.7	Hidrante (H)
4+507.30	J-40	946.2	15.55	973.2	26.92	973.3	27.02	Purga (P)
4+648.00	J-41	952.8	0	972.9	20.09	973.0	20.2	Aire (A)
4+684.20	J-42	950.7	15.55	972.8	22.04	972.9	22.15	Hidrante (H)
4+775.20	J-43	947.4	0	972.8	25.27	972.9	25.38	Purga (P)
4+829.20	J-44	949.1	0	972.7	23.64	972.8	23.75	Aire (A)
4+850.00	J-45	948.3	0	972.7	24.42	972.8	24.53	Tee (SR-12)
4+979.20	J-46	939.9	0	820.2	-119.5	820.1	-119.6	Purga (P)
5+006.00	J-47	940.1	0	820.2	-119.62	820.1	-119.72	reduccion
5+041.80	J-48	943.1	0	820.2	-122.68	820.1	-122.77	Aire (A)
5+146.70	J-49	936.4	0	820.2	-115.98	820.1	-116.08	Hidrante (H)
5+238.50	J-50	933.6	0	820.2	-113.21	820.1	-113.3	Purga (P)
5+387.80	J-51	940.2	0	820.2	-119.81	820.1	-119.91	Aire (A)
5+727.60	J-52	921.6	0	820.2	-101.25	820.1	-101.35	P+embone (SR13)

Continúa...

Progresiva	Label	Elevation (m)	Demand (l/s)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)	Estructura
Subramal 11								
0+005.00	J-53	965.4	0	1035.2	69.65	1035.7	70.14	Hidrante (H)
0+181.60	J-54	950.6	0	961.3	10.64	961.5	10.86	Hidrante (H)
0+248.80	J-55	948.7	15.55	960.0	11.34	960.3	11.65	Purga (P)
0+266.20	J-56	950.0	0	959.8	9.76	960.1	10.09	reduccion
0+309.50	J-57	951.7	0	959.2	7.47	959.6	7.84	Aire (A)
0+532.40	J-58	933.4	0	950.3	16.85	951.3	17.91	Purga (P)
0+599.40	J-59	945.9	0	947.7	1.89	949.0	3.15	Aire (A)
0+697.30	J-60	945.4	0	947.6	2.15	948.9	3.42	Hidrante (H)
0+793.60	J-61	929.0	0	943.7	14.62	945.3	16.19	Purga (P)
0+980.00	J-62	945.4	0	939.8	-5.54	941.7	-3.66	Aire (A)
1+107.90	J-63	940.0	0	932.4	-7.62	934.8	-5.16	embone
1+107.90	J-64	927.5	15.55	927.3	-0.26	930.1	2.59	Hidrante (H)
1+171.90	J-65	918.1	15.55	925.2	7.07	928.2	10.08	Purga (P)
1+215.50	J-66	924.3	0	924.3	-0.04	927.3	3.03	Aire (A)
1+350.90	J-67	909.0	15.55	921.2	12.25	924.5	15.54	Purga (P)
1+446.90	J-68	922.2	0	920.1	-2.12	923.5	1.24	Aire (A)
1+493.20	J-69	918.6	15.55	919.5	0.88	922.9	4.28	Purga (P)
1+586.20	J-70	929.2	0	919.0	-10.15	922.4	-6.73	Aire (A)
1+736.60	J-71	925.2	0	918.1	-7.1	921.6	-3.64	Purga (P)
1+779.60	J-72	927.9	0	917.8	-10.02	921.3	-6.54	Aire (A)
2+026.90	J-73	919.8	0	916.4	-3.41	919.9	0.14	Purga (P)
2+129.50	J-74	918.1	15.55	915.8	-2.34	919.3	1.24	Hidrante (H)
2+487.70	J-75	901.8	15.55	915.2	13.33	918.8	16.91	Hidrante (H)
Subramal 12								
0+620.00	J-76	925.5	15.55	971.7	46.09	971.8	46.22	Purga (P)
0+740.00	J-77	940.5	0	971.7	31.17	971.8	31.3	Hidrante (H)
Subramal 13								
0+040.30	J-78	924.2	0	820.2	-103.76	820.1	-103.85	Aire (A)
0+106.90	J-79	917.6	0	820.2	-97.23	820.1	-97.32	Purga (P)
0+154.00	J-80	921.8	0	820.2	-101.44	820.1	-101.54	Aire (A)
0+407.10	J-81	922.0	0	820.2	-101.65	820.1	-101.75	Aire (A)
0+440.00	J-82	920.0	0	820.2	-99.64	820.1	-99.74	Hidrante (H)