

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.

1.1. INTRODUCCIÓN.

El agua es un recurso renovable, escaso y limitado. Su mal uso y distribución ocasionan problemas que cada día tienen mayor impacto en la sociedad, por eso es importante buscar soluciones para que este recurso sea correctamente aprovechado. En la mayoría de las regiones, el problema no es la falta de agua, sino su mala distribución.

Actualmente la administradora de los servicios de agua Potable y Alcantarillado Sanitario de la Ciudad de Tarija es COSAALT (Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado), que tiene la función de planificar, ejecutar y administrar.

En los sistemas de distribución de agua potable, aspectos como la calidad, cantidad y presión son fundamentales para garantizar un adecuado servicio, sin embargo, muchos de los sistemas actualmente construidos y en operación presentan serias limitaciones en su funcionamiento, como ser: disminución significativa de presiones en el momento de máxima demanda, discontinuidad en la prestación de servicio.

Dentro de la zona de estudio se encuentra el sistema de agua potable denominado sector Tomatitas, el cual está ubicado en la zona noroeste de la ciudad de Tarija, en el distrito 6 y está compuesto por los barrios, Los Álamos, Los Olivos, Paraíso, Carlos Wagner, parte de Obrajes, y Tomatitas. Actualmente COSAALT R.L está interesado en realizar verificaciones hidráulicas en redes de distribución, preferentemente en las zonas de expansión y crecimiento, donde en cierta manera no existe una planificación adecuada.

Para conseguir nuestros objetivos, se utilizará el programa EPANET, creado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA, que preocupada por la calidad del servicio de agua y por la minimización de las pérdidas del recurso en los sistemas de abastecimiento,

desarrolló el programa EPANET, el cual, además de no tener costo alguno para su utilización, es una eficaz herramienta orientada hacia el análisis del comportamiento de los sistemas de distribución de agua potable.

En el presente trabajo se encontrarán los antecedentes a la problemática mencionada y su justificación, así como el planteamiento y formulación del problema a ser tratado, los objetivos tanto generales como específicos que dan evidencia a lo que se busca lograr.

1.2. ANTECEDENTES.

Un primer estudio elaborado corresponde al Plan Maestro Integral de Agua y Saneamiento del Valle Central de Tarija, donde se realizó un análisis de las fuentes de abastecimiento, aducciones, impulsiones, como de red de distribución y almacenamiento.

Los resultados obtenidos dan a conocer que con el paso del tiempo ha sido muy pocas las estrategias que se han implementado para contrarrestar las deficiencias en la prestación del servicio, además exponen que se han visto en la necesidad de recurrir al racionamiento de agua en verano debido a la baja regulación de caudal, en época de estiaje el promedio en los barrios que tienen mayor y menor continuidad varía entre 18,5 horas/día y 14,2 horas/día, evidenciando que es necesario la ampliación del sistema de agua potable para dotar el servicio a toda la población, además de mejorar las plantas potabilizadoras y sus componentes de conducción (Plan Maestro Integral de Agua y Saneamiento del Valle Central de Tarija, 2.015).

Una segunda investigación realizada es sobre la dotación media diaria de agua potable en el barrio Las Panosas, ciudad de Tarija. Los resultados de las Dotaciones domésticas estimadas para la gestión 2.018 para el mes de mayo en el área piloto es de 185,336 L/hab./día, cabe destacar que esta investigación contó con una limitante importante que es el tiempo, se realizó

en un periodo de un solo mes de observaciones de consumos, por lo tanto, los valores estimados serán válidos únicamente para el mes de mayo.

Según el estudio, en el diseño de sistemas de agua potable en las zonas urbanas se cree que dichos sistemas, estarían sobredimensionados cuando se utilizan las dotaciones planteadas en la NB 689, la cual para la ciudad de Tarija es de 200 a 250 L/hab./día, mientras que al usar el valor determinado por el estudio (185,336 L/hab./día) que es un valor menor (Cadena, 2018, p. 122).

1.3.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los sistemas de distribución de agua potable constituyen una pieza clave en el bienestar y el desarrollo de una población, una buena cobertura genera bienestar y comodidad en los beneficiarios, por lo ya mencionado se hace primordial garantizar un servicio constante y de calidad.

En la actualidad el sistema de agua potable del sector Tomatitas se encuentra operando de manera incierta debido a que la red de distribución fue ejecutada de forma arbitraria, de acuerdo a las solicitudes de conexiones domiciliarias y en función al crecimiento habitacional, sin ninguna planificación ni estudio técnico, no se conoce si cumple con los parámetros de presiones y velocidades establecidos en la norma NB 689, por tanto, es necesario realizar una simulación que nos permita conocer si el funcionamiento de la red es correcto o no.

Todos estos factores, ocasionan un mal funcionamiento del sistema, como ser: Cortes de servicio, falta de agua, roturas de tubería, falta de capacidad en las tuberías, racionamientos, discontinuidad en el servicio, etc.

Por esta razón, COSAALT dentro del programa de operación y mantenimiento de las redes de distribución de agua potable, especialmente en áreas de crecimiento y periféricas se ha

priorizado realizar la optimización de los mismos, con el programa EPANET, que es capaz de generar un modelo matemático, que representará las condiciones hidráulicas de dicha red.

¿Los parámetros de presiones y velocidades en el sector Tomatitas cumplen con lo establecido en la Norma Técnica de Diseño para Sistemas de Agua Potable NB 689?

1.4.OBJETIVOS.

1.4.1. OBJETIVO GENERAL.

Realizar la simulación del sistema de agua potable del sector Tomatitas de la ciudad de Tarija aplicando el Programa EPANET para conocer y verificar los parámetros de velocidad y presión establecidos en la Norma Técnica de Diseño para Sistemas de Agua Potable NB 689.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar los caudales máximos que produce cada fuente que abastece al sistema para verificar las demandas estimadas.
- Simular la red de distribución de agua potable existente para evaluar los parámetros de presión y velocidad en las condiciones actuales.
- Proyectar el crecimiento de la población del sector para los próximos 10 años, y realizar una nueva simulación.
- Analizar la simulación de eventos, averías y situaciones especiales que pudieran suceder dentro de la red.

1.5.JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.

La falta de una planificación adecuada ocasiona que el crecimiento urbano de la ciudad de Tarija sea desordenado, peor aún en los barrios periféricos donde primaron los asentamientos ilegales, esta problemática se complicó tanto que el departamento en 2013 ascendió al primer

lugar de Bolivia con mayor cantidad de asentamientos, ante esta situación los servicios básicos son difíciles de implementar ya que falta una planificación adecuada.

El desarrollo y crecimiento de las viviendas en barrios no consolidados hacen que la implementación de los servicios básicos sea dificultosa, de ahí que COSAALT procede a realizar las conexiones domiciliarias sin ningún criterio técnico, siendo las consecuencias técnicas el mal servicio (falta de agua, presión).

La evaluación de una red de distribución de agua potable es de gran importancia, debido a que permite establecer parámetros del estado actual de un sistema, en términos de su operatividad, caudales, velocidades y presiones. El desarrollo y crecimiento de las viviendas en barrios no consolidados hacen que la implementación de los servicios básicos sea dificultosa, de ahí que COSAALT procede a realizar las conexiones domiciliarias sin ningún criterio técnico, siendo las consecuencias el mal servicio (falta de agua y baja presión en la red).

Esta es la razón principal por lo que se quiso trabajar conjuntamente con COSAALT, que proporcionó los datos necesarios y requeridos, con la finalidad de contribuir mutuamente con el desarrollo del aprendizaje, experimentación en campo y servicio a la población del sector. El beneficio principal que se busca es que se tenga un panorama claro del funcionamiento de la red de abastecimiento, además de encontrar posibles propuestas de mejoramiento que permitan tener un mejor desempeño del sistema de agua potable. Por otro lado, COSAALT dispondrá de un modelo del sistema de distribución que le permitirá evaluar modificaciones que se hagan a la red.

1.6.HIPÓTESIS.

La evaluación del sistema de agua potable del sector Tomatitas utilizando EPANET permitirá identificar discrepancias en los parámetros de presiones y velocidades con lo

establecido en la Norma Técnica de Diseño para Sistemas de Agua Potable NB 689, lo que sugiere la necesidad de ajustes en el diseño y operación de la red para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro.

1.7.MARCO METODOLÓGICO.

1.7.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

La presente investigación, tiene un enfoque cuantitativo, debido a que los datos recolectados, como ser volúmenes, mediciones, tamaños, y otros, nos permitirán conocer la situación de la red de agua potable del sector Tomatitas, considerando las características relacionadas con la población, el crecimiento de la misma, los consumos de agua potable, las estructuras de abastecimiento y el catastro de la red.

A su vez es una investigación es de tipo explicativa según Borja, (2016) porque busca las causas que generan ciertos fenómenos físicos, profundizando más allá de la descripción de los elementos que componen la red, centrándose en explicar el ¿por qué? de los cambios en las presiones, velocidades, la discontinuidad en el suministro del servicio y otros, estableciendo así la relación de las variables propuestas.

1.7.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

El presente estudio es de tipo preexperimental según Borja (2016), debido a que consiste en administrar un estímulo al objeto de estudio, en este caso vendría a ser la modelación en el programa EPANET de la red de agua potable sector Tomatitas, y así “conocer su funcionamiento y verificar los parámetros de velocidad y presión”. Se especifica que dentro del diseño preexperimental corresponde a un estudio de pre prueba y posprueba con un solo grupo, debido a que se hizo una medición al inicio, es decir, con la aplicación del programa EPANET, se efectuó un modelo de toda la red para conocer su comportamiento actual, posteriormente se

realizó otra medición con un modelo optimizado de la red, de manera que se contó con un punto de referencia inicial para analizar.

1.7.3. UNIVERSO DE TRABAJO Y MUESTRA.

Al seleccionar un caso representativo como lo es, la red de agua potable del sector Tomatitas, se está recurriendo al muestreo no probabilístico, de acuerdo a Borja, (2016, p.32), no es posible calcular el error estándar, así como el nivel de confianza con el que hacemos la estimación y la selección de los elementos no depende de la probabilidad sino del criterio del investigador. Por lo tanto, la muestra vendría a constituirse en espontánea, que se utiliza cuando no se tienen referencias precisas acerca de la población total, que facilita en este caso la presente investigación.

1.8.VARIABLES.

- **VARIABLE INDEPENDIENTE.**

Simulación del Sistema de Agua Potable Sector Tomatitas de la Ciudad de Tarija.

- **VARIABLE DEPENDIENTE.**

Evaluar los parámetros de velocidad y presión en el sector.

- **OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

Es el proceso mediante el cual se explica cómo se medirán las variables formuladas en la hipótesis (metodología de la investigación científica para ingenieros, 2012, p. 24).

Tabla 1.
Matriz de la operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Medición	Rango de Variabilidad
Variable Independiente: Conocer el funcionamiento del sistema de agua potable del sector Tomatitas de la ciudad de Tarija	Conjunto de estructuras, equipos, accesorios e instalaciones que tienen por objeto transformar la calidad del agua y transportarlas desde la fuente de abastecimiento hasta los puntos de consumo, en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión (NB 689, 2004, p. 147).	Para evaluar el funcionamiento de una red de distribución en la que se conocen los diámetros, longitudes y topografía; se requiere determinar la presión en los nodos y las velocidades en las tuberías, mediante una simulación en el programa Epanet.	Funcionamiento de la red. Programa.	Velocidad. Presión. Epanet.	m/s m.c.a ----	0,3 – 2 m/s 5 - 10 m.c.a ----
Variable Dependiente: Evaluar los parámetros de velocidad y presión en el sector.	El agua ejerce un empuje o presión sobre la pared del tubo la contiene, y se expresa en metros por columna de agua.	En la red de distribución actual, donde se conocen las presiones y velocidades resultantes de la simulación; se pretende identificar los factores que hacen deficiente al mismo y proponer alternativas de solución, tomando en cuenta a lo que estipula la norma boliviana NB-689.	Factores deficientes. Alternativas de solución. Normativa.	Diámetros. Tuberías. Fuentes de suministro. Topografía. Dotación NB-689.	Plg. PVC. --- msnm. L/hab. día	1,5” - 3” ---- ---- ---- 90 l/hab. día

Fuente: Elaboración propia.

1.9.METODOLOGÍA.

La ejecución de este estudio se inició con la recolección y análisis de la información existente como ser: el catastro de la red, donde se pudo identificar los diámetros, longitudes y material del cual están hechas las tuberías (Anexo 1).

Registro y recorrido de campo: con personal de COSAALT se realizó la visita al sector Tomatitas donde se pudo recabar la siguiente información:

- Sistema de captación: Galería Filtrante del Río Erquiz, Pozo Tomatas C, Pozo Los Álamos y Pozo del Bosquecillo.
- Tanques de almacenamiento de agua (apoyado).

En cuanto a la población, para conocer el número de familias que habitan en la zona, se realizó un recorrido de campo, el cual consistió en verificar que familias contaban con un medidor, cuantas familias no contaban con este dispositivo y el número de lotes vacíos.

Posteriormente, con la información de la micro medición que realiza COSAALT R.L., datos mensuales de consumo (Anexo 2), se realizó el procesamiento de la misma y en conjunto con la población actual, se estimó la dotación de agua potable en el sector.

Luego se realizó el aforo de los caudales que producen los sistemas de captación, el aforo fue realizado por el Centro de Investigación del Agua (CIAGUA) en fecha 15 de Marzo de 2.021, para ello emplearon el caudalímetro por ultrasonido PCE-TDS 100HS, el cual fue instalado para el aforo de la galería filtrante del río Erquis, sobre la tubería de impulsión de 6 plg, iniciando a las 9:50 a.m. en un intervalo de cada 10 minutos y en un tiempo total de 3 horas, el aforo del pozo los Álamos se inició a la misma hora, en cuanto al aforo del pozo del Bosquecillo y pozo Tomatas C, estos se iniciaron a las 9:15 y 10:10 a.m. respectivamente.

Por último, con la información ya procesada se realizó la simulación de la red de distribución de agua potable en el programa EPANET, obteniendo así los resultados de presiones y velocidades.

1.10. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

Las técnicas empleadas para la recolección de la información fueron la observación y la entrevista. La entrevista con fines de investigación puede ser entendida como la conversación que sostienen dos personas (entrevistador y entrevistado), celebrada por iniciativa del entrevistador con la finalidad de obtener alguna información importante para la investigación (Borja Suarez , 2016, pág. 33)

Se realizo en aforo de los caudales con la metodología siguiente, donde el instrumento de recolección de información fue el caudalímetro por ultrasonido PCE-TDS 100HS y una planilla de observación.

Primeramente, se introdujo los siguientes datos en el caudalímetro:

- Diámetro exterior de la tubería, 3, 4 y 6 plg.
- Espesor del material de la tubería, 6mm.
- Material de la tubería, F°G°.
- Revestimiento del tubo, ninguno.
- Tipo de líquido, agua.
- Disposición de los sensores, método V.

Una vez introducidos estos datos, se procedió a realizar el colocado de los sensores en las tuberías.

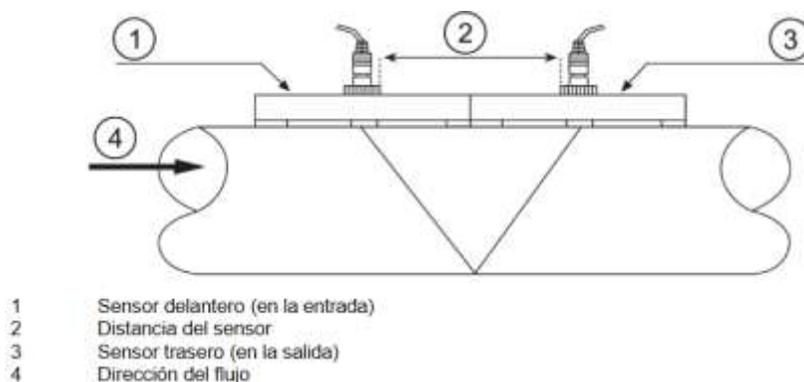


Figura 1. Disposición de los sensores, método V.

Fuente: *Manual de Instrucciones Caudalímetro PCE-TDS 100 HS*, (p. 14), Copyright 2017 por PCE Instruments.

Por último, se procedió a registrar en la planilla los datos del tiempo y el caudal producido por cada fuente de agua potable (en un intervalo de cada 10 minutos, cada lectura).

Tabla 2.

Planilla de observación PCE-TDS 100HS.

HORA	CAUDAL
(h)	(l/s)

Fuente: Elaboración propia.

1.11. ANÁLISIS DE DATOS

Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó programas como:

- Excel (para generar tablas, gráficos y la memoria de cálculo).
- Word (para elaborar el informe final y las fichas técnicas).
- AutoCAD (Para el dibujo de las redes).
- EPANET (simulación de la red).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1.MARCO HISTÓRICO.

La zona urbana de Tarija está creciendo rápidamente y con ella la demanda de agua, la principal fuente de agua de la ciudad proviene del Rincón de la Victoria, la que es utilizada desde los años 40. Hasta 2016, la ciudad de Tarija estuvo sumida desde el área central hasta la periferia en problemas de racionamiento del servicio. En el mismo año unos 10 pozos fueron habilitados logrando beneficiar a 35 barrios, con una población estimada de 150 mil habitantes.

Por el crecimiento de la ciudad y la creación de nuevos barrios, uno de los principales problemas es la escasez de agua potable en diferentes puntos, aún con el esfuerzo que hace COSAALT para mantener la producción en la época seca, se presentan zonas que no tienen continuidad en el servicio.

En épocas de estiaje se realizan constantes racionamientos y cortes del servicio, debido a que la fuente principal de agua “La Victoria” disminuye su caudal considerablemente. Por otro lado, la ciudad de Tarija tiene uno de los consumos de agua per cápita más altos del país, estimado en 240 litros por día. Además, el sistema de distribución tiene un alto índice de pérdidas de agua, especialmente en la aducción y distribución, afectando así la dotación de agua en la mayoría de los sectores de la ciudad.

Los actuales sistemas de distribución de agua potable son ineficientes en su uso y distribución. Esto se traduce en que, en época de estiaje, algunas zonas, sobre todo las periurbanas no cuentan con un servicio de suministro de agua potable continuo (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2015).

2.2.MARCO LEGAL Y/O NORMATIVO.

El marco legal se presenta a continuación:

“Norma Boliviana NB 689 – Instalaciones de agua – Diseño para sistemas de agua potable”, en su segunda revisión, que sustituye a la correspondiente norma editada en noviembre de 1996, por el ex Ministerio de Desarrollo Humano.

Esta norma tiene como objeto fundamental, regir el diseño y consecuentemente la construcción de los sistemas de agua potable, para mejorar las condiciones de vida del ciudadano boliviano. La presente norma se constituye en un instrumento que debe ser conocido y aplicado de forma obligatoria por los responsables de las diferentes etapas de implementación de proyectos de abastecimiento de agua potable.

“Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable”, de la norma NB 689 **“Instalaciones de agua – Diseño para sistemas de agua potable”**, que sustituye a los correspondientes Reglamentos editados en noviembre de 1996, realizado por el Viceministerio de Servicios Básicos, a través de la Dirección General de Servicios Básicos.

Los presentes reglamentos tienen como objetivo fundamental orientar el diseño y consecuentemente la construcción de los sistemas de agua potable, para asegurar la entrega de obra de calidad que faciliten la provisión de un servicio adecuado que perdure en el tiempo, mejorando las condiciones de vida y salud del ciudadano boliviano. Estos reglamentos deben ser conocido y aplicado de forma obligatoria por los responsables del diseño e implementación de proyectos de abastecimiento de agua potable, a nivel urbano, periurbano y rural.

2.3.MARCO REFERENCIAL.

Como antecedentes se tienen los siguientes proyectos de grado relacionados con modelación hidráulica de redes de distribución empleando EPANET:

Tesis: “CALIBRACIÓN Y SIMULACIÓN HIDRÁULICA EN REDES DE AGUA POTABLE BASADO EN SOFTWARE EPANET” presentado por ROBERT JESÚS SEGOVIA VIRACOCHA, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho en el año 2004, Tarija – Bolivia. Indica lo siguiente:

El objetivo de este proyecto es la calibración y simulación hidráulica de una red de agua potable basado en el software EPANET, para tener un control del funcionamiento hidráulico en el cual se reflejen los resultados del software con las mediciones en el campo en la misma red, para después poder realizar simulaciones en distintos estados hipotéticos de funcionamiento de la red, ya que mediante las simulaciones el proyectistas pueden hacer un control siguiendo las Normas Técnicas de funcionamiento hidráulico, y así poder plantear estrategias de solución o mejoramiento del sistema de distribución de Agua Potable.

El proceso del estudio fue primeramente la sectorización e independización del sistema de distribución de agua potable del barrio catedral, seguidamente se hizo un seguimiento de la ubicación de las tuberías y conexiones domiciliarias para después realizar el levantamiento de campo basándose de un punto BM (1993,37 m.s.n.m.) ubicado al lado del tanque de almacenamiento.

Para la calibración de la red se realizó la construcción de cámaras en puntos estratégicos de la red y así instalar un medidor de $\varnothing 4''$ y dos medidores proporcionales de $\varnothing 2''$.

Tesis: “SIMULACIÓN NUMÉRICA TRANSITORIA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA” presentado por BERTÍN LAGUNAS RAMÍREZ de la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE INGENIERIA, en el año 2012, México.

En los últimos años en la ciudad universitaria se ha venido acrecentando considerablemente el consumo de agua por lo que se considera imperativo tomar acciones que ayuden a reducir el problema de suministro de agua. en este trabajo se presenta un modelo numérico, para la representación de las principales características de la red de distribución de agua en la ciudad universitaria. el modelo del sistema se desarrolla utilizando la ecuación de HAZEN-WILLIAMS para la obtención de pérdidas y toma en cuenta las características de los componentes: rugosidad, altura de nodos, diámetro de tuberías, longitud de tuberías, curvas de bombas, etc. los coeficientes de la ecuación de HAZEN-WILLIAMS fueron asignados según su material. el modelo se realizó utilizando EPANET, un software especializado en fluidos desarrollado por la “WATER SUPPLY AND WATER RESOURCES DIVISION” que es una agencia de protección del medio ambiente en estados unidos. La simulación consiste en una red compuesta por tuberías de distintos diámetros y materiales, bombas, tanques de almacenamiento y reservorios según las observaciones que se han realizado en campo.

La red se alimenta por medio de los reservorios que con un sistema de bombeo llenan los tanques de almacenamiento y después se distribuye el agua por medio de las tuberías que van a lo largo y ancho de la ciudad universitaria. El modelo proporciona información sobre el estado de la red, presión, velocidad y flujo de agua; estos datos dependen de la posición y la hora del proceso.

Tesis: “ACTUALIZACIÓN DEL CATASTRO Y EVALUACIÓN DE LA RED MATRIZ DEL ACUEDUCTO VEREDAL ARVUDEA EN ACACÍAS, META” presentado por ANDRES MAURICIO ROJAS LLANOS Y DANILO MENESES TORO de la UNIVERSIDAD DE LA SALLE, FACULTAD DE INGENIERIA, PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL en el año 2017, Bogotá – Colombia.

El acueducto veredal de Arvudea localizado en el municipio de Acacías, opera bajo la concesión de Cormacarena con un caudal de 12 L/s, este abastece a 950 usuarios que tienen uso doméstico y abrevadero; el presente proyecto consistió en brindar herramientas y criterios que le permitan a este crecer y desarrollarse bajo conocimientos técnicos por medio de la implementación de una modelación hidráulica del sistema en el software EPANET y una adecuación del catastro de redes que permita tener la información lo más ordenada posible. En este orden de ideas se realizó la recopilación de la información necesaria para la modelación, esta incluye: la ubicación y las características de las redes de tuberías, los accesorios presentes en las mismas, las estructuras de captación, tratamiento y distribución del agua, y los caudales presentes en el sistema. Una vez realizado el trabajo de campo y la respectiva modelación, se analizaron las condiciones de operación actual del sistema, dando un diagnóstico del mismo, de igual manera se plantearon en EPANET varios estados de carga representados en distintos escenarios tales como cierre de válvulas de ramales, rotura de tuberías por falla y optimización de la red mediante el uso de válvulas reguladoras de presión, como última medida se configuró en EPANET un escenario en el que se incluyen los usuarios proyectados, en este se plantearon condiciones de operación que debían existir para hacerlo posible. Por último, se desarrolló una cartilla que contiene y explica los procedimientos necesarios para realizar la modelación de una

red de distribución de un acueducto veredal. Lo anterior con el fin de dejar una guía para futuras investigaciones, intervenciones o modelaciones.

Tesis: “ESTIMACIÓN DE LA DOTACIÓN MEDIA DIARIA DE AGUA POTABLE Y CALIBRACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAUDAL MÁXIMO DIARIO (K1) Y MÁXIMO HORARIO (K2) PARA UN ÁREA PILOTO DENTRO DEL BARRIO LAS PANOSAS – CIUDAD DE TARIJA” presentado por YIMY RAUL CADENA ORTIZ, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho en el año 2018, Tarija – Bolivia.

En nuestro país se utiliza la Norma Boliviana (NB 689) para el diseño de sistemas de agua potable, la misma que nos brinda parámetros referenciales no ajustados a nuestra realidad ya que estos parámetros fueron estimados por experiencias laborales y no así por estudios más precisos y que se cree que no podrían reflejar el comportamiento real de funcionamiento en los diseños de sistemas de agua potable, uno de los parámetros más importantes es el Consumo per cápita, al variar este parámetro puede generar diseños de sistemas agua no coherentes en la realidad, de manera que es importante generar información actualizada y real referente a este tema y que esté acorde a los usos y costumbres de la sociedad de cada ciudad.

El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de estimar la Dotación per cápita de uso doméstico, estimando el Consumo de agua de las diferentes viviendas de un área piloto de la ciudad de Tarija, teniendo en cuenta los factores que afectan el Consumo de agua como: tipo de vivienda, condiciones climáticas, número de habitantes, permanencia, pérdidas y desperdicios en suministro de agua potable.

En el área piloto se procedió a realizar lecturas por 30 días y una lectura horaria en el día de máximo consumo, así mismo se realizó una encuesta para poder determinar el número de habitantes del área y con esto determinar los parámetros de estudio. Por último, se realizaron

varios análisis de los Consumos de agua diarios y comparaciones con la NB 689 y otras investigaciones similares realizadas en la ciudad de Tarija.

2.4.MARCO CONCEPTUAL.

2.4.1. CONCEPTOS BÁSICOS.

Agua Potable.

Agua que, por su calidad física, química radiológica y microbiológica es apta para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua (NB 689, 2004, p. 141).

Caudal Máximo Diario.

Consumo máximo durante 24 horas, observado durante el periodo de un año sin tener en cuenta los gastos que se hayan presentado en razones por incendio, pérdidas, accidentes y fuerza mayor (NB 689, 2004, p. 142).

Caudal Máximo Horario.

Consumo máximo obtenido durante una hora en el periodo de un año sin tener en cuenta los gastos que se hayan presentado en razones por incendio, pérdidas, etc. (NB 689, 2004, p. 142).

Caudal Medio Diario.

Consumo durante 24 horas, obtenida como promedio de los consumos diarios en el periodo de un año (NB 689, 2004, p. 142).

Dotación.

Cantidad de agua que se le asigna a un habitante para su consumo por día, expresado en (l/h -d) (NB 689, 2004, p. 143).

Golpe de Ariete.

Fenómeno oscilatorio causado por el cierre rápido de válvulas o, por el para repentino del sistema de bombeo, que da lugar a la transformación de la energía cinética del líquido en energía

elástica almacenada tanto en el agua como en la tubería, provocando sobrepresiones y subpresiones, que pueden originar la ruptura de la tubería (NB 689, 2004, p. 144).

Nivel Dinámico.

Distancia medida desde la superficie del terreno hasta el nivel de agua en el pozo producido por el bombeo (NB 689, 2004, p. 145).

Nivel Estático.

Distancia desde la superficie del terreno hasta el nivel de agua en el pozo, no afectado por el bombeo (NB 689, 2004, p. 145).

Presión de Servicio.

Presión requerida para que el agua llegue al punto más desfavorable del sistema (NB 689, 2004, p. 146).

Presión de Rotura.

Presión interna a la cual la tubería falla o se rompe (NB 689, 2004, p. 146).

Presión Dinámica.

Diferencia entre la presión estática y las pérdidas de carga producidas en el tramo respectivo, en el momento de flujo máximo (NB 689, 2004, p. 146).

Presión Estática.

Presión en un punto de la aducción o red considerando la ausencia de flujo en la misma o consumo nulo de la red (NB 689, 2004, p. 146).

Presión Nominal.

Presión interna máxima a la cual puede estar sometida una tubería en las condiciones de apoyo y relleno establecidas en el proyecto (NB 689, 2004, p. 146).

Sistema de Agua Potable.

Conjunto de estructuras, equipos, accesorios e instalaciones que tienen por objeto transformar la calidad del agua y transportarlas desde la fuente de abastecimiento hasta los puntos de consumo, en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión (NB 689, 2004, p. 147).

2.4.2. RED DE DISTRIBUCIÓN.

La red de distribución es un conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten el suministro de agua, a los consumidores de agua de forma constante, con presión apropiada, en cantidad suficiente y calidad adecuada para satisfacer sus necesidades domésticas, comerciales, industriales y otros usos (NB 689, 2004, p. 146).

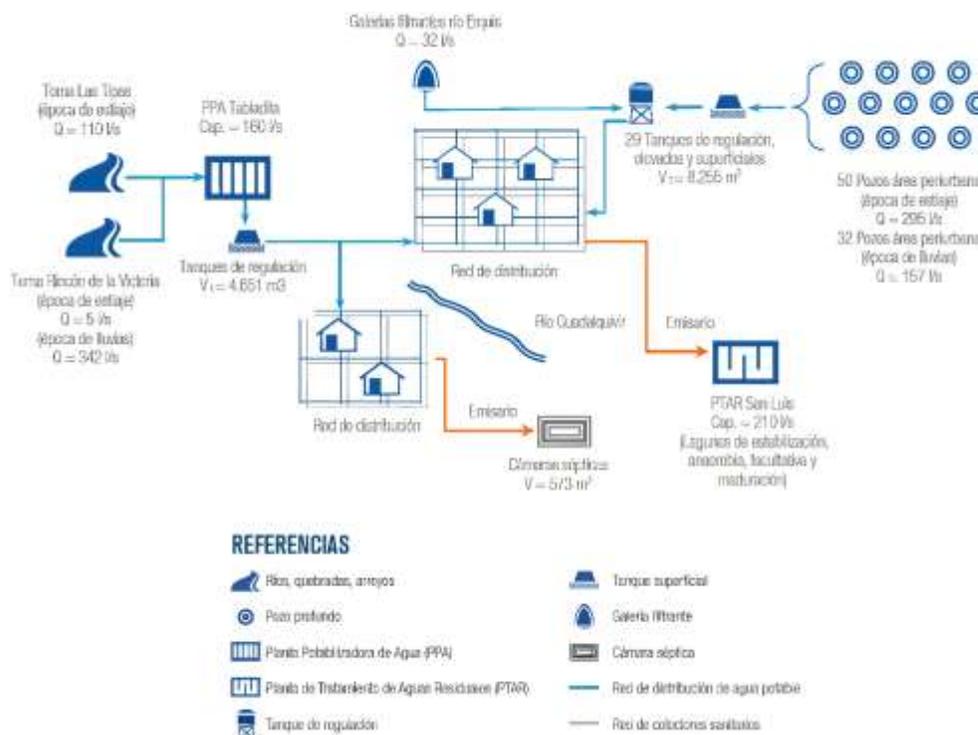


Figura 2. Sistema de agua potable y alcantarillado sanitario.

Fuente: Indicadores de Desempeño de las EPSA reguladas en Bolivia, 6, p. 80, Copyright 2019 por GIZ/PERIAGUA.

2.5. TIPOS DE REDES.

2.5.1. RED ABIERTA O RAMIFICADA.

La red está constituida por tuberías que forman ramificaciones a partir de una línea principal.

La red abierta puede aplicarse en poblaciones semi dispersas y dispersas o cuando por razones topográficas o por conformación de la población no es posible un sistema cerrado (NB 689, 2004, p. 71).

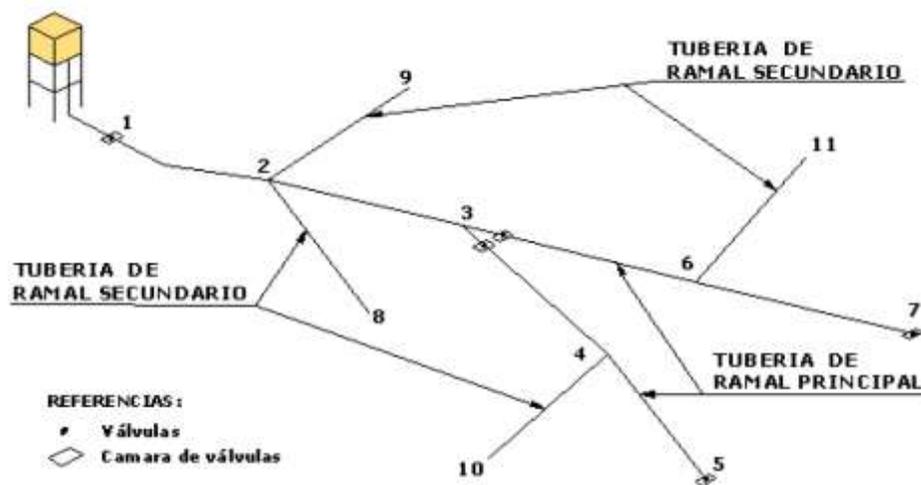


Figura 3. Esquema de una red abierta o ramificada.

Fuente: Gestión de Agua y Saneamiento Sostenible, p. 34, 2016, copyright 2016 por Usaid.

Para el dimensionamiento de redes ramificadas se conoce el método que podría denominarse tradicional, y que consiste en, primeramente, definir los caudales de consumo en los tramos, con la siguiente idealización.

Para efectos de diseño, se admite que la distribución de agua en los tramos sea sustituida por consumos localizados en puntos ficticios adecuadamente situados (nudos). En estas condiciones, se considera un caudal uniforme escurriendo en cada tramo.

Con los caudales de consumo, se calcula los caudales de transición en cada tramo, luego se efectúa diversos ensayos con una sucesión de diámetros de tubería, obteniendo pérdidas de carga

y presiones dinámicas a lo largo de la red. La solución que ofrezca un esquema de diámetros de la red tal, que las presiones dinámicas cumplan determinados requisitos de valores máximos y mínimos, será la solución correcta.

2.5.2. RED CERRADA O ANILLADA.

La red está constituida por tuberías que forman circuitos cerrados o anillos.

La red cerrada puede aplicarse en poblaciones concentradas y semi concentradas mediante redes totalmente conectadas o parcialmente conectadas. La red puede estar compuesta por una red principal y una red secundaria (NB 689, 2004, p. 71).

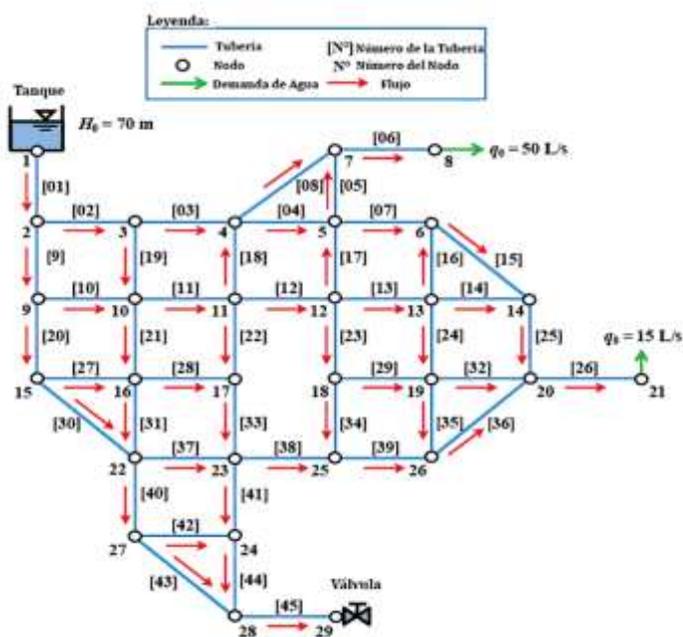


Figura 4. Esquema de una red cerrada o anillada.

Fuente: Golpe de ariete en una red de tuberías debido al cierre rápido de una válvula, 2018, Copyright 2018 por Creative Commons. Ingenieros Consultores. Rancagua. Chile.

Para el diseño hidráulico de las tuberías de redes cerradas se deben considerar los siguientes aspectos:

1. El caudal que llega a un nudo es igual al que sale.
2. la pérdida de carga entre dos puntos a lo largo de cualquier camino, es siempre la misma.

Varios métodos se han desarrollado, que son útiles en el proceso de cálculo, pero se considera que el método de HARDY CROSS, es el más generalizado. Este método es de aproximaciones sucesivas, por el cual se aplican sistemáticas correcciones a los caudales originales asumidos (gastos de tránsito), hasta que la red quede balanceada (NB 689, 2004, p. 76).

2.6.FORMAS DE DISTRIBUCIÓN.

2.6.1. DISTRIBUCIÓN POR GRAVEDAD.

La distribución por gravedad se aplica cuando la obra de captación y/o tanque de almacenamiento se encuentra en un nivel superior a la red de distribución y se garantice presión suficiente en toda la red (NB 689, 2004, p. 71).

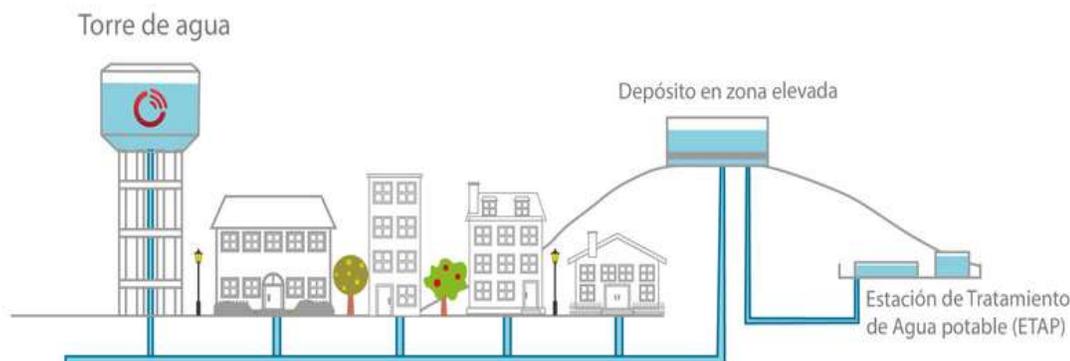


Figura 5. *Esquema de distribución por gravedad.*

Fuente: “Plan de Trabajo para un Proyecto”, por PAI (Procesos de automatización e Instrumentación S.A. de C.V.), *El camino del Agua hasta tu mesa*, Copyright por PAI.

2.6.2. DISTRIBUCIÓN POR BOMBEO DIRECTO A LA RED.

La distribución de bombeo puede aplicarse cuando la ubicación de la obra de captación o tanque de almacenamiento no garantiza presión suficiente en toda la red, por lo que es necesario utilizar dispositivos y equipos que impulsen el agua a través de la red. Con la finalidad de proporcionar un servicio continuo, debe incluirse un sistema de suministro de energía eléctrica (NB 689, 2004, p. 71).

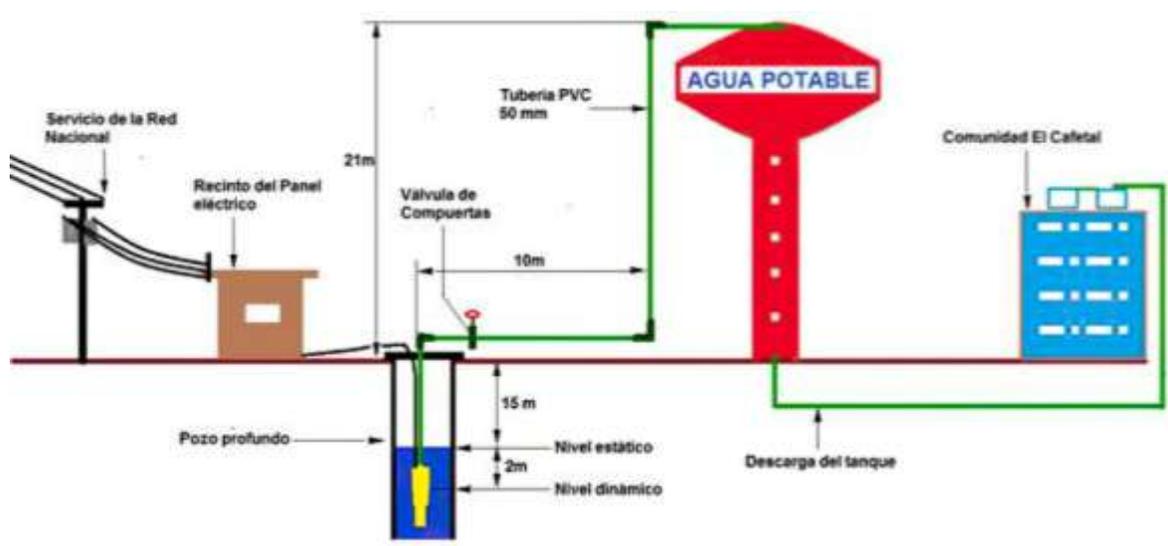


Figura 6. *Distribución por bombeo.*

Fuente: Comprobación de la eficiencia de una bomba sumergible Modelo NK 81, 2014, Copyright por Diaz y J. Rivero.

2.6.3. DISEÑO DE REDES.

Caudal de Diseño.

La red de distribución debe calcularse para el caudal máximo horario o para el caudal máximo diario más la demanda contra incendios, utilizando para el diseño el mayor valor resultante. Para el cálculo de la red de distribución se debe considerar la zona actual y futura con sus densidades actuales y aquellas consideradas en los planes reguladores urbanos o establecida por el proyectista sobre la base de información local (NB 689, 2004, p. 72).

Determinación de Caudales en Redes Abiertas.

Para la determinación de caudales en redes abiertas debe considerarse el número de conexiones. Para redes con más de 30 conexiones domiciliarias debe aplicarse uno de los métodos para redes cerradas. Para redes con menos de 30 conexiones domiciliarias debe determinarse el caudal por ramal, utilizando el método probabilístico o de simultaneidad, basado en el coeficiente de simultaneidad y el número de grifos (NB 689, 2004, p. 73).

El caudal por ramal es:

$$Q_{\text{ramal}} = K \sum Q_g$$

Donde:

Q_{ramal} : caudal de cada ramal en l/s.

K: coeficiente de simultaneidad $K \geq 0.20$ (véase tabla).

$$K = \frac{1}{\sqrt{(x - 1)}}$$

X: número total de grifos en el área que abastece cada ramal $x \geq 2$.

Q_g : caudal por grifo (l/s) $x \geq 0.10$.

Tabla 3.

Valores del coeficiente K de simultaneidad.

N° De Grifos	K	N° De Grifos	K	N° De Grifos	K	N° De Grifos	K
2	1	17	0,25	10	0,33	25	0,2
3	0,71	18	0,4	11	0,32	26	0,2
4	0,58	19	0,4	12	0,3	27	0,2
5	0,5	20	0,3	13	0,29	28	0,2
6	0,5	21	0,2	14	0,28	29	0,2
7	0,41	22	0,2	15	0,27	30	0,2
8	0,38	23	0,1	16	0,26		
9	0,35	24	0,1				

Fuente: Norma Boliviana NB 689.

Determinación de Caudales en Redes Cerradas.

a) Método de Área Unitaria.

El caudal por nudo debe determinarse utilizando el caudal unitario superficial y el área de influencia del nudo. El caudal unitario superficial debe determinarse dividiendo el caudal máximo horario entre la superficie total del proyecto. Se aplica en poblaciones cuyas densidades poblacionales son uniformes (NB 689, 2004, p. 72).

b) Método de Densidad Poblacional.

El caudal unitario poblacional debe determinarse dividiendo el caudal total entre la población total del proyecto. Se aplica a poblaciones cuyas densidades poblacionales no son uniformes (NB 689, 2004, p. 73).

c) Método de Longitud Unitaria.

El caudal por nudo debe determinarse utilizando el caudal unitario y la longitud del tramo correspondiente. El caudal unitario debe determinarse dividiendo el caudal máximo horario entre la longitud total de la red principal. Se aplica a poblaciones cuyas densidades poblacionales son uniformes (NB 689, 2004, p. 73).

d) Método de la Repartición Media.

El caudal por nudo debe determinarse utilizando los caudales de los tramos adyacentes. El caudal de los tramos adyacentes debe determinarse con el caudal por tramo, repartiéndolos en partes iguales a los nodos d sus extremos.

El caudal por tramo debe determinarse por el método de longitud unitaria. Se aplica en poblaciones cuyas densidades poblacionales son uniformes (NB 689, 2004, p. 73).

e) Método del Número de Familias.

El caudal por nudo debe determinarse utilizando el caudal unitario y el número de familias del área de influencia del nudo. El caudal por tramo debe determinarse utilizando el caudal máximo horario y el número total de familias. Se aplica en poblaciones cuyas densidades poblacionales no son uniformes (NB 689, 2004, p. 73).

2.7.CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN.

Los sistemas de distribución de agua deben cumplir con los siguientes requisitos o funciones principales:

1. Suministrar agua potable al consumidor en la cantidad y calidad necesarias.
2. Proveer suficiente agua para combatir incendios en cualquier punto del sistema.

2.7.1. CAUDAL DE DISEÑO.

Se deberá calcular para el caudal máximo horario o para el caudal máximo diario más la demanda contra incendios, utilizando para el diseño el mayor valor resultante.

2.7.2. PRESIONES DE SERVICIO.

Durante el período de la demanda máxima horaria, la presión mínima en cualquier punto de la red no debe ser menor a:

- a) Poblaciones iguales o menores a 2000 habitantes 5 m.c.a.
- b) Poblaciones entre 2001 y 10 000 habitantes 10 m.c.a.
- c) Poblaciones mayores a 10 000 habitantes 13 m.c.a.

La presión máxima estática no será en ningún caso mayor a 70 m.c.a. las áreas que estén en terrenos altos y que requieran mayores presiones para ser abastecidas, deben tener, en lo posible, sistemas separados de presión, debiendo mantenerse las presiones por medio de bombeo o tanques elevados (NB 689, 2004, p. 75).

2.7.3. VELOCIDADES.

La velocidad mínima en la red principal de distribución en ningún caso debe ser menor a 0,30 m/s para garantizar su autolimpieza. Para poblaciones pequeñas, se aceptarán velocidades menores, solamente en ramales secundarios. La velocidad máxima en la red de distribución no debe ser mayor a 2 m/s (NB 689, 2004, p. 75).

2.7.4. DIÁMETROS.

Los diámetros mínimos de las tuberías principales para redes cerradas deben ser:

- En poblaciones menores a 2.000 habitantes 1”.
- En poblaciones de 2.001 a 20.000 habitantes 1 ½”.
- En poblaciones mayores a 20.000 habitantes 2”.

En redes abiertas, el diámetro mínimo de la red principal debe ser de 1”, aceptándose, en poblaciones menores a 2.000 habitantes, un diámetro de ¾” para ramales (NB 689, 2004, p. 75).

2.7.5. UBICACIÓN DE LAS TUBERÍAS.

En poblaciones no urbanizadas, la red de distribución debe ubicarse en lo posible lo más cerca de las viviendas para facilitar su conexión. En redes cerradas, las tuberías de la red de distribución deben ubicarse en los costados Sur y Este en las calles a 1.0 m del cordón de la acera o a un tercio de la calzada. (NB 689, 2004, p. 76).

2.7.6. MATERIALES.

Para las tuberías de distribución pueden utilizarse: FF, FFD, FG, PVC o PEAD de acuerdo a las características particulares de cada proyecto y de los factores económicos. Profundidad de la instalación: La profundidad mínima a la cual debe instalarse la tubería de la red de distribución es 0,8 m desde la rasante del terreno hasta la clave de la tubería. En aquellos casos en que exista o se prevea volumen alto de tráfico o tráfico de vehículos de alto tonelaje, la profundidad mínima deberá ser de 1.0 m desde la clave de la tubería (NB 689, 2004, p. 77).

CAPÍTULO III: MODELACIÓN EN EPANET.

3.1.INTRODUCCIÓN.

Para analizar y evaluar el comportamiento de la red de agua potable existente y poder establecer escenarios futuros, es necesario conocer el funcionamiento hidráulico de este complejo sistema. En la actualidad, existen programas para la simulación hidráulica, estos reducen la complejidad de los cálculos, facilitan la revisión de los datos de entrada y salida del modelo, comparan los resultados de cada simulación con las mediciones en distintos puntos del sistema (calibración del modelo).

Haciendo uso del programa de diseño EPANET en diferentes escenarios con la finalidad de conocer el comportamiento del sistema bajo distintas condiciones de servicio que se puedan presentar en la realidad, en el cual se determinó 2 escenarios que son los siguientes:

- a. **Escenario I:** Sistema de Agua Potable Sector Tomatitas de la Ciudad de Tarija en las condiciones actuales.
- b. **Escenario II:** Sistema de Agua Potable Sector Tomatitas de la Ciudad de Tarija en condiciones futuras.

3.2.ESCENARIO I.

En este escenario realizaremos la simulación del Sistema de Agua Potable Sector Tomatitas de la Ciudad de Tarija en las condiciones actuales, para ver el estado en el que se encuentra la red en los distintos aspectos relacionados con el abastecimiento del servicio de agua potable tales como: Presiones y velocidades establecidos en la **Norma Boliviana NB 689 – Instalaciones de agua – Diseño para sistemas de agua potable.**

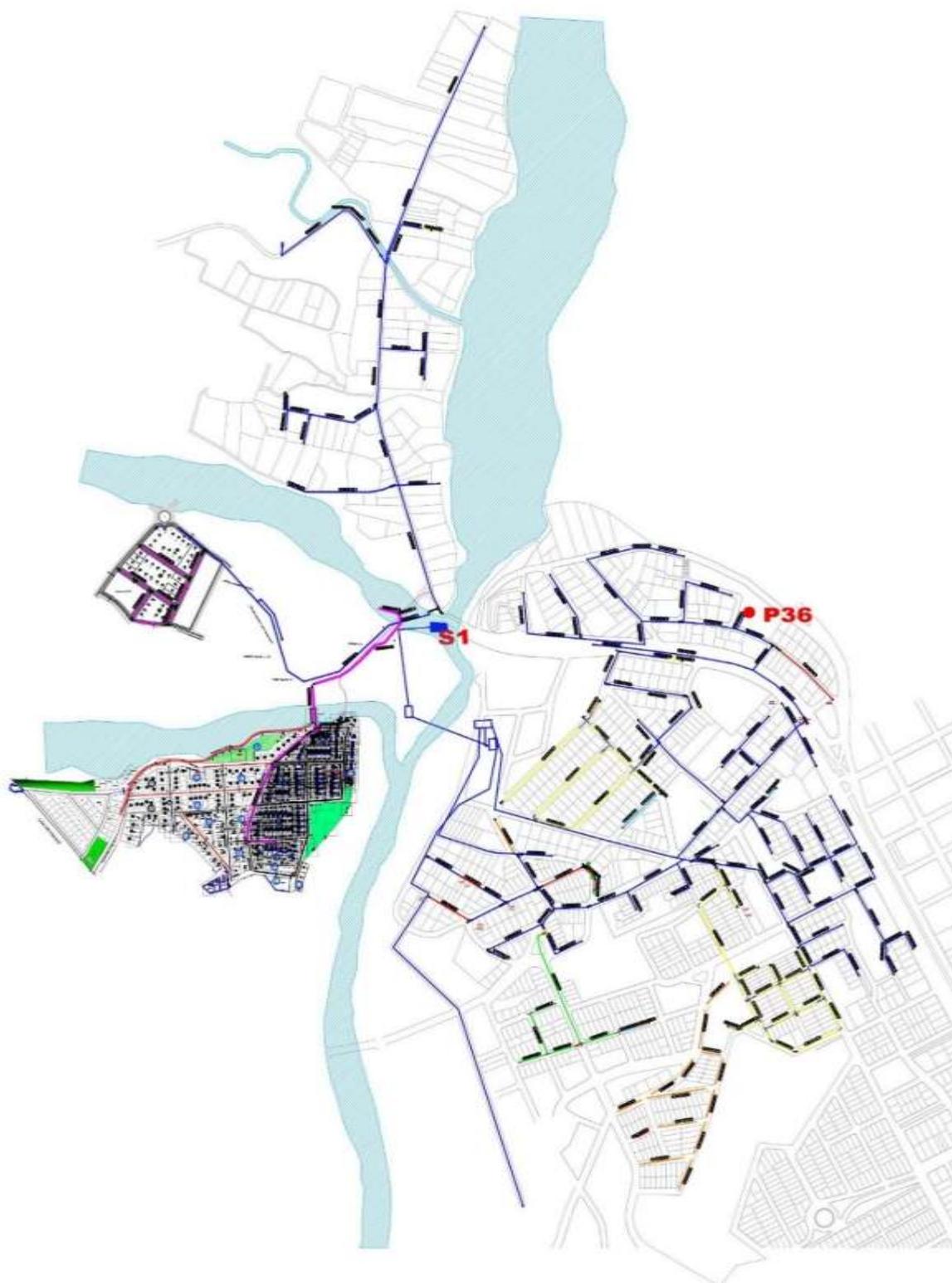


Figura 7. Plano de la red, situación actual.

Fuente: Elaboración Propia.

La primera parte del estudio comprendió en la recolección de datos necesarios para la evaluación de la red existente, tales como:

- Consumos de los usuarios de la red.
- Plano de la red existente con las características geométricas de la misma.
- Descripción topográfica del sector.

Con el plano que se obtuvo se procedió ubicar los nudos en la red de agua potable ya existentes y se estableció su cota respectiva.

Una vez establecida la ubicación de los nudos en la red, se determinó el caudal de consumo en cada uno de ellos. Este caudal se calcula en función del consumo unitario registrado para cada lote en el sector en estudio. Se contabilizó el número de lotes o usuarios conectados a un nudo específico. Por lo tanto, el consumo registrado para el nudo es:

$$Q_i = \sum_{l=1}^n Q_l$$

Donde:

Q_i : Consumo del nudo i .

Q_l : Consumo unitario de cada lote.

n : Número de lotes o usuarios conectados al nudo i .

3.2.1. POBLACIÓN ACTUAL.

La población beneficiaria asciende a un número total de 818 familias divididas en dos sectores denominados 17 y 27, el sector 17 cuenta con 650 familias y el sector 27 con 168, ambos distribuidos en los 6 barrios que comprenden el sector Tomatitas.

3.3.ESCENARIO II.

En este escenario se realiza la proyección de la población y se determinan los sectores en donde se asentará la misma. Luego se modela la situación proyectada, de forma de poder conocer si la red soportará la nueva demanda o habrá que hacer correcciones para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema.

3.4.OBTENCIÓN DE LOS CAUDALES DE CADA FUENTE DE AGUA DEL SECTOR TOMATITAS.

Tabla 4.

Volumen de agua producido por el pozo Tomatas C.

Hora (h)	Volumen (m ³)	Volumen (m ³ /h)	Caudal (L/s)
06:00	180836,5		
07:00	180851	14,5	4
08:00	180866	15	4,17
09:00	180882	16	4,44
10:00	180897	15	4,17
11:00	180914	17	4,72
12:00	180929	15	4,17
13:00	180945	16	4,44
14:00	180961	16	4,44
15:00	180977	16	4,44
16:00	180993	16	4,44
17:00	181008	15	4,17
18:00	181024	16	4,44
19:00	181040	16	4,44
20:00	181056	16	4,44
21:00	181071	15	4,17
22:00	181085	14	3,89

Fuente: Elaboración Propia.

Debido a la emergencia sanitaria que se está viviendo y, a otros problemas sociales que afectaron al país en su momento, provocaron dificultades para la obtención de los caudales que produce cada fuente de agua del sector Tomatitas, es por eso que se optó por realizar la lectura de los macro medidores, si bien el pozo Tomatas C y el pozo Los Álamos cuentan con este dispositivo, solo el que se encuentra instalado en el pozo Tomatas C está en funcionamiento, la Galería Filtrante del Río Erquiz no cuenta con ningún dispositivo que permita conocer el caudal.

El día 11 de febrero de 2021 se realizó la lectura del macro medidor instalado en el pozo Tomatas C, desde las 6 de la mañana hasta las 10 de la noche, registrando el volumen que produce a cada hora, para luego convertirlo en caudal, por ejemplo, entre las 6 y 7 de la mañana tenemos un volumen igual a $14,5 \text{ m}^3$, si este lo convertimos en litros y lo dividimos en 3.600 s (1 hora) tenemos un caudal de 4 L/s. Se registró un caudal máximo de 4,72 L/s a las 11 de la mañana como podemos ver en la **Tabla 4**.

Al no poder coordinar con COSAALT R.L para el uso de su caudalímetro por ultra sonido, se debió recurrir al CIAGUA (Centro de Investigación del Agua) realizando el aforo de los caudales de los pozos Tomatas C, Los Álamos, El Bosquecillo y La Galería Filtrante del río Erquiz tan solo por 3 horas y en un intervalo de 10 minutos, las cuales se encuentra dentro del periodo donde se registró el caudal máximo realizando la lectura del macro medidor del pozo Tomatas C.



Figura 10. *Pozo Tomatas C.*
Fuente: Fotografía del autor.



Figura 11. *Aforo de caudal pozo Tomatas C.*
Fuente: Fotografía del autor.

3.5. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL.

Como resultado de caudal de operación de la red se tienen dos opciones:

1. **SECTOR 17.-** El caudal obtenido a partir de los consumos mensuales en el sector es 9,35 l/s, mientras que el caudal máximo aforado para la galería filtrante del río Erquiz es 11,3 l/s y para el pozo Los Álamos 4,7 l/s, sumados ambos tenemos un caudal total para el sector de 16 l/s.
2. **SECTOR 27.-** El caudal máximo aforado en el pozo Tomatas C es 4,67 l/s y el caudal que se tiene a partir de los consumos mensuales es 2,09 l/s.

El instrumento utilizado es un caudalímetro por ultrasonido **PCE-TDS 100HS**, utiliza la metodología de tiempo de tránsito para determinar la velocidad del flujo y el caudal para líquidos lo más homogéneos posible.



Figura 12. Caudalímetro por ultrasonido PCE-TDS 100HS.

Fuente: Fotografía del autor.

Teniendo en cuenta que existe una diferencia entre estos caudales y que la población de ambos sectores no cuenta en su totalidad con los medidores correspondientes, la situación real de la red está determinada por los caudales aforados por el equipo ultrasónico de modo que se escoge estos para la simulación. El servicio de aforo de caudales para redes de agua potables fue realizado los días 12 y 15 de marzo del 2021.

3.5.1. SECTOR 17 CONSUMOS MENSUALES.

El sector 17 cuenta con una red de agua potable que presta servicio desde hace 25 años aproximadamente, el abastecimiento es por medio del sistema de bombeo de agua potable “Galería Filtrante del Río Erquiz” y, el pozo “Los Álamos”, la población del sector se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 5.

Población del sector 17.

AÑO	2014	2015	2016	2017	2018
Familias	132	140	212	229	247
Con Medidor					
Familias	461	453	381	364	403
Sin Medidor					
TOTAL	593	593	593	593	650

Fuente: Elaboración Propia a partir de datos obtenidos de COSAALT.

A continuación, se presentan los consumos en la red, son datos de familias que cuentan medidor.

Tabla 6.

Consumos Mensuales de los usuarios del sector 17, en m³/mes.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
2014	3462	3681	3568	3345	3225	3302
2015	4331	3371	3698	4311	3617	3953
2016	6607	7090	6035	8004	7545	6945
2017	6084	4670	4902	5420	4797	5647
2018	5934	5224	4989	5759	5271	5056
TOTAL (m ³ /mes)	26418	24036	23192	26839	24455	24903

AÑO	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	3230	3990	3819	3799	4176	3705
2015	3707	4419	3913	4178	4385	3797
2016	7452	6995	8279	8063	8336	7457
2017	5050	5660	5388	5833	6092	5205
2018	5026	5235	5034	5944	5572	5144
TOTAL (m ³ /mes)	24465	26299	26433	27817	28561	25308

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de COSAALT.

Se estima que en la ciudad existen 34.298 familias, con un promedio de 5 integrantes por familia (CNPV 2012), multiplicando las 247 familias con medidor del año 2018 por 5 tenemos que la población total del sector es de 1.235 habitantes.

Dotación media diaria (L/h-d).

Con los consumos mensuales se procederá a realizar el cálculo de la dotación media diaria. La dotación media diaria se refiere al consumo anual total previsto en un centro poblado dividido por la población abastecida y el número de días del año (NB 689, 2004, p. 143).

Tabla 7.

Cálculo de la dotación media diaria (l/h-d).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
TOTAL (m ³ /mes)	26418	24036	23192	26839	24455	24903
Promedio Días (L/d)	5283,6 31	4807,2 28	4638,4 31	5367,8 30	4891 31	4980,6 30
Dotación (L/h-d)	170438,71	171685,71	149625,81	178926,67	157774,19	166020

	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TOTAL (m ³ /mes)	24465	26299	26433	27817	28561	25308
Promedio Día (L/día)	4893 31	5259,8 31	5286,6 30	5563,4 31	5712,2 30	5061,6 31
Dotación (L/h-d)	157838,71	169670,97	176220	179464,52	190406,67	163277,42

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de COSAALT.

Caudal Medio Diario.

El número de familias en el sector 17 es de 650, para tener el total de habitantes en el sector debemos multiplicarlo por 5, eso nos da 3250 habitantes.

$$Q_{md} = \frac{P_f D_f}{86400}$$

Q_{md} : Caudal medio diario, en L/s.

P_f : Población futura, en h.

D_f : Dotación futura en, L/h-d.

$$Q_{md} = \frac{3250 \times 138}{86400} = 5,19 \text{ L/s}$$

Caudal Máximo Diario.

$$Q_{max.d} = K_1 \times Q_{md}$$

$Q_{max.d}$: Caudal máximo diario, en L/s.

K_1 : Coeficiente de caudal máximo diario. $K_1 = 1,20$ a $1,50$.

Q_{md} : Caudal medio diario, en L/s.

$$Q_{max.d} = 1,20 \times 5,19 = 6,23 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Caudal Máximo Horario.

$$Q_{max.h} = K_2 \times Q_{max.d}$$

$Q_{max.h}$: Caudal máximo horario, en L/s.

K_2 : Coeficiente de caudal máximo horario.

$Q_{max.d}$: Caudal máximo diario, en L/s.

Tabla 8.

Coeficiente de caudal máximo horario K_2 .

Población (habitantes)	Coeficiente k_2
Hasta 2 000	2,20 – 2,00
De 2 001 a 10 000	2,00 – 1,80
De 10 001 a 100 000	1,80 – 1,50
Más de 100 000	1,5

Fuente: Norma Técnica de Diseño para Sistemas de Agua Potable NB 689.

$$Q_{max.h} = 1,50 \times 6,23 = 9,35 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

3.6.CAUDALES AFORADOS EN EL SECTOR 17.

3.6.1. GALERÍA FILTRANTE DEL RÍO ERQUIZ.

Tabla 9.

Caudales Aforados galería filtrante del río Erquiz.

HORA (h)	CAUDAL (l/s)	HORA (h)	CAUDAL (l/s)
9:50	11,10	11:30	10,75
10:00	10,70	11:40	10,43
10:10	10,78	11:50	10,30
10:20	10,45	12:00	10,93
10:30	10,67	12:10	11,30
10:40	10,57	12:20	11,20
10:50	10,61	12:30	11,23
11:00	10,63	12:40	10,80
11:10	10,41	12:50	11,10
11:20	10,47		

Fuente: Elaboración propia.

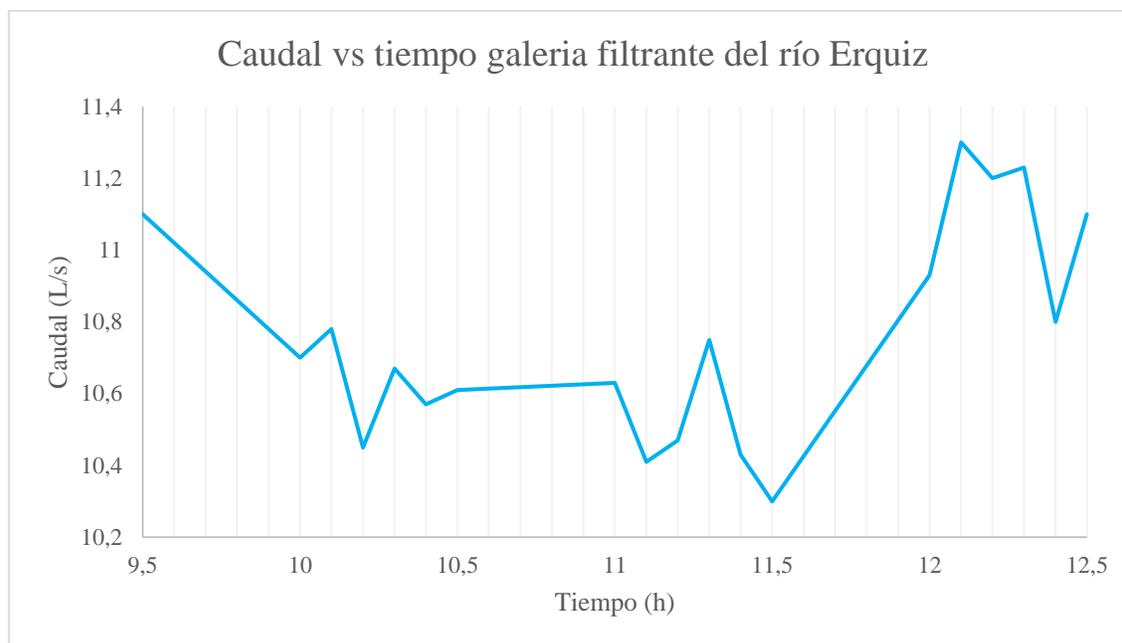


Figura 13. Variaciones horarias de consumo galería filtrante del río Erquiz.

Fuente: Elaboración propia.

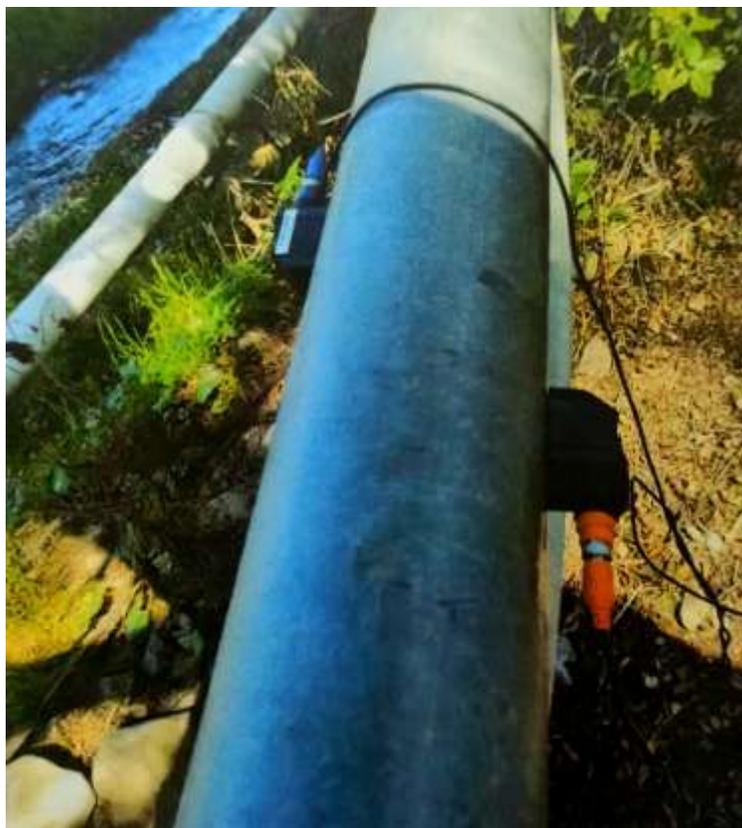


Figura 14. Aforo de caudal en la galería filtrante del río Erquiz.

Fuente: Fotografía del autor.

3.6.2. POZO LOS ÁLAMOS

Tabla 10.

Caudales aforados pozo los Álamos

HORA (h)	CAUDAL (l/s)	HORA (h)	CAUDAL (l/s)
9:50	4,41	11:30	4,60
10:00	4,6	11:40	4,55
10:10	4,64	11:50	4,48
10:20	4,50	12:00	4,58
10:30	4,52	12:10	4,51
10:40	4,61	12:20	4,45
10:50	4,70	12:30	4,50
11:00	4,55	12:40	4,42
11:10	4,52	12:50	4,43
11:20	4,62	13:00	4,44

Fuente: Elaboración propia.

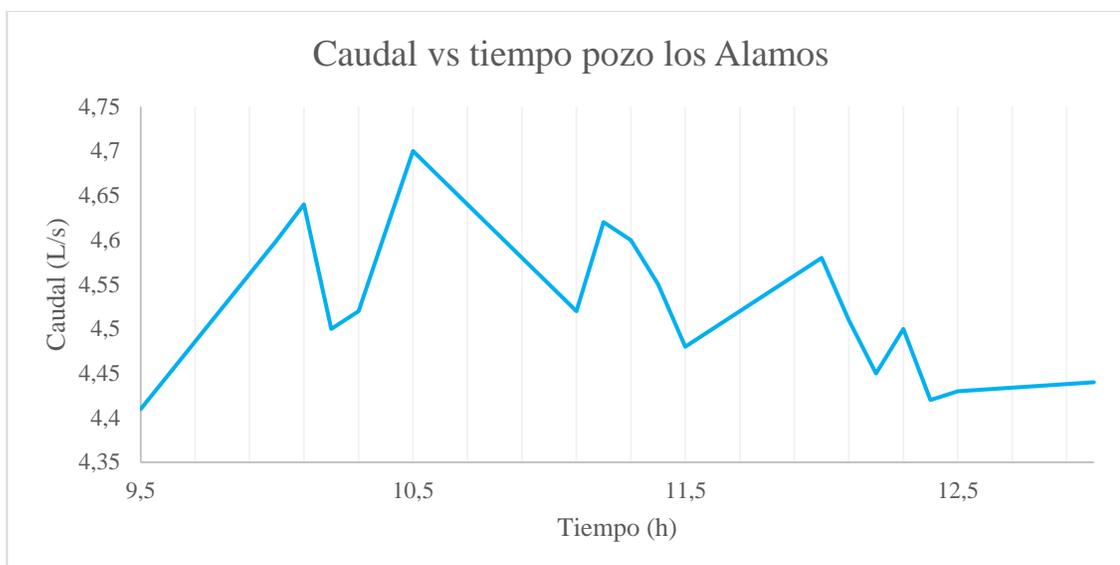


Figura 15. *Variaciones horarias de consumos pozo los Álamos.*
Fuente: Elaboración propia.



Figura 16. *Aforo de caudal en el pozo los Álamos.*
Fuente: Fotografía del autor.

3.7. ESCENARIO DE SIMULACIÓN I SECTOR 17: CONDICIONES ACTUALES.

3.7.1. ASIGNACIÓN DE DEMANDAS.

En primer lugar, se realizó un análisis del plano de la red existente del sector 17, el cual fue suministrado por COSAALT, se detectaron falencias en el mismo y mediante visitas y charlas con el personal de la empresa se logró completarlo y corregirlo. Una vez completado el plano, se determinaron los nudos que luego serían cargados en el programa.

Luego se procedió a contabilizar los lotes circundantes a cada uno de los nudos definidos, con esta información se completó una planilla, con el fin de conocer la demanda de cada nudo, la población total. El conteo de los lotes circundantes a cada nudo se realizó mediante el estudio del plano catastral de la ciudad, fotografías satelitales obtenidas desde Google Earth y recorridos por el sector, verificando que los lotes contabilizados se encuentren habitados. Se presenta una tabla con los datos recolectados del análisis de nudos en el **Anexo 3**.

3.7.2. DATOS DE LAS FUENTES.

El sistema se alimenta de dos fuentes que funcionan a bombeo:

Tabla 11.

Datos de las fuentes zona 17.

Galería Filtrante del Río Erquiz		Unidad
Caudal	11,3	L/s
Horas de Bombeo	20	h
Potencia de Bomba	25	HP
Pozo Los Álamos		
Caudal	4,7	L/s
Horas de Bombeo	17	h
Potencia de Bomba	15	HP
Marca	FRANKLIN	
Profundidad de la Bomba	55	m

Fuente: Elaboración Propia a partir de datos obtenidos de COSAALT.

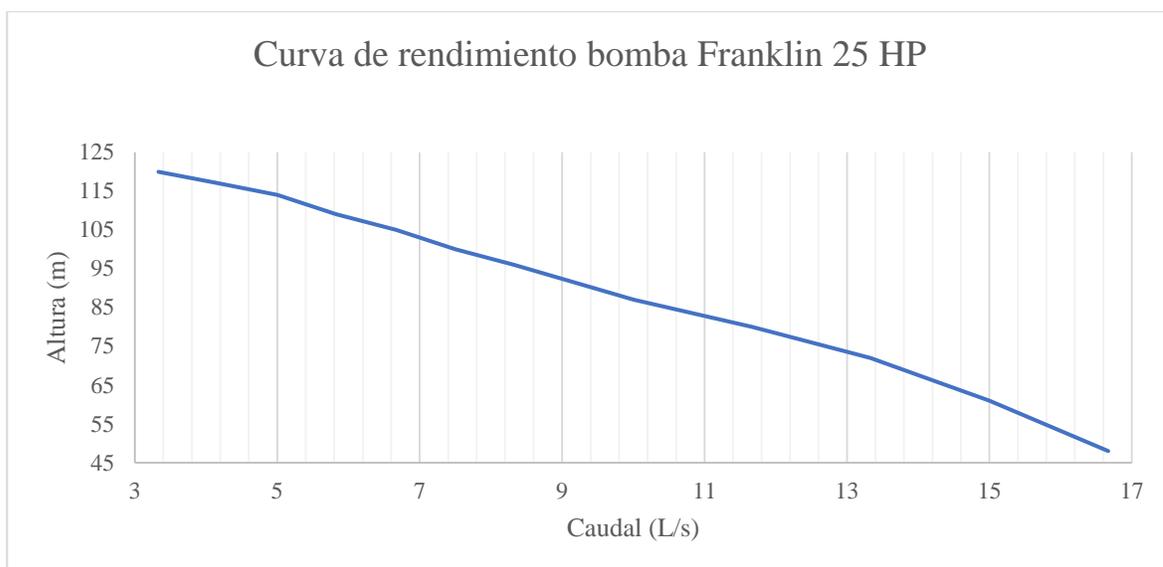
La curva de rendimiento de la bomba del Sistema de Bombeo de Agua Potable “Galería Filtrante del Río Erquiz” es la siguiente:

Tabla 12.

Curva de comportamiento galería filtrante del río Erquiz bomba de 25HP.

CAUDAL (l/s)	ALTURA (m)
3,33	120
4,17	117
5,00	114
5,83	109
6,67	105
7,50	100
8,33	96
10,00	87
11,67	80
13,33	72
15,00	61
16,67	48

Fuente: Catalogo Industrial Sumergible FRANKLIN.

**Figura 17.** *Curva de rendimiento bomba de 25 HP.*

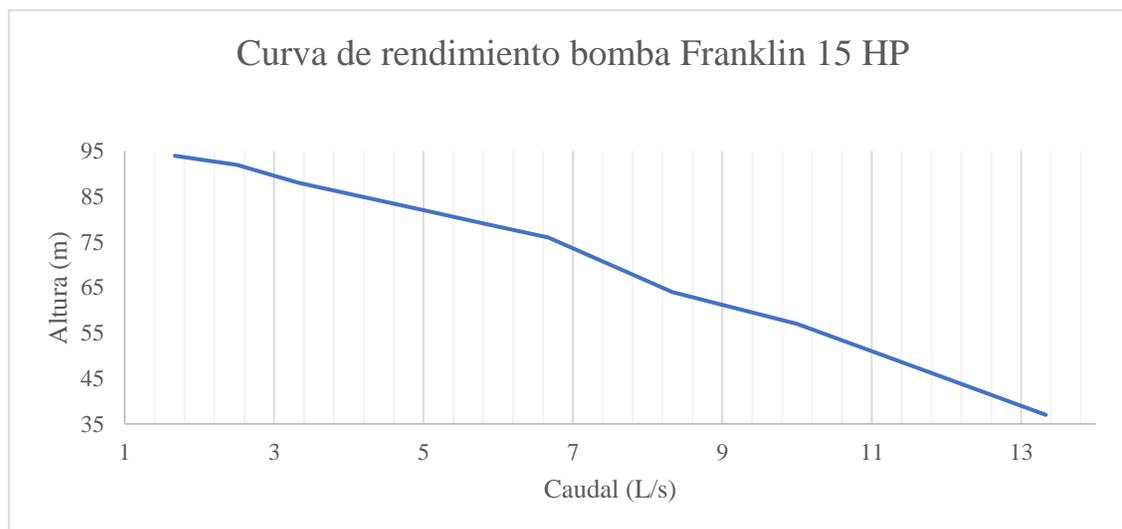
Fuente: Catalogo Industrial Sumergible FRANKLIN, p. 6, copyright por Motor Mob.

Curva de comportamiento de la bomba de 15 HP, pozo Los Álamos:

Tabla 13.*Curva de Rendimiento Pozo Los Álamos Bomba de 15 HP.*

CAUDAL (l/s)	ALTURA (m)
1,67	94
2,50	92
3,33	88
4,17	85
5,00	82
5,83	79
6,67	76
7,50	70
8,33	64
10,00	57
11,67	47
13,33	37

Fuente: Catalogo Industrial Sumergible FRANKLIN.

**Figura 18.** *Curva de rendimiento bomba de 15 HP.*

Fuente: Catalogo Industrial Sumergible FRANKLIN, p. 6, copyright por Motor Mob.

A continuación, se presenta un perfil del pozo:

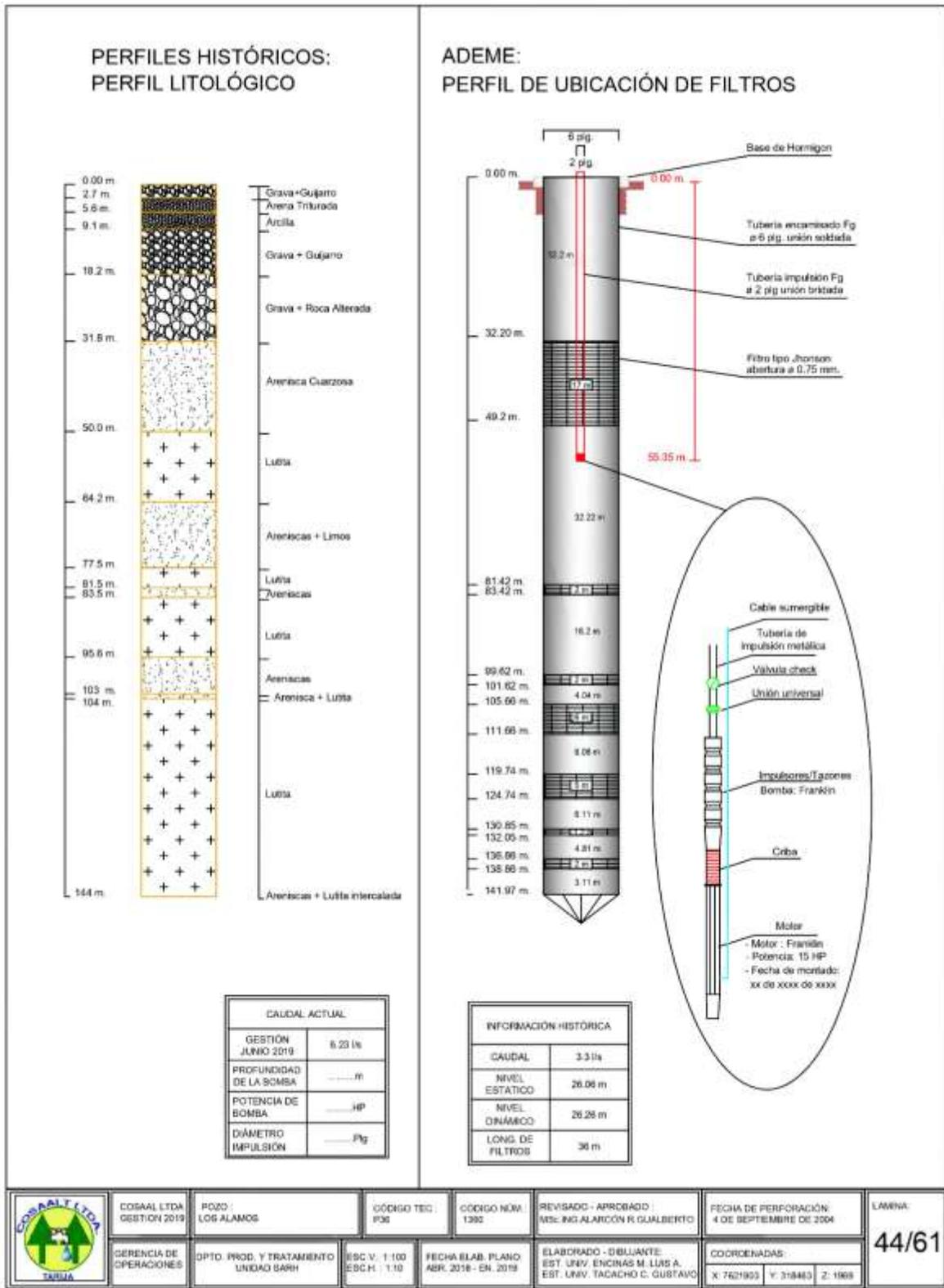
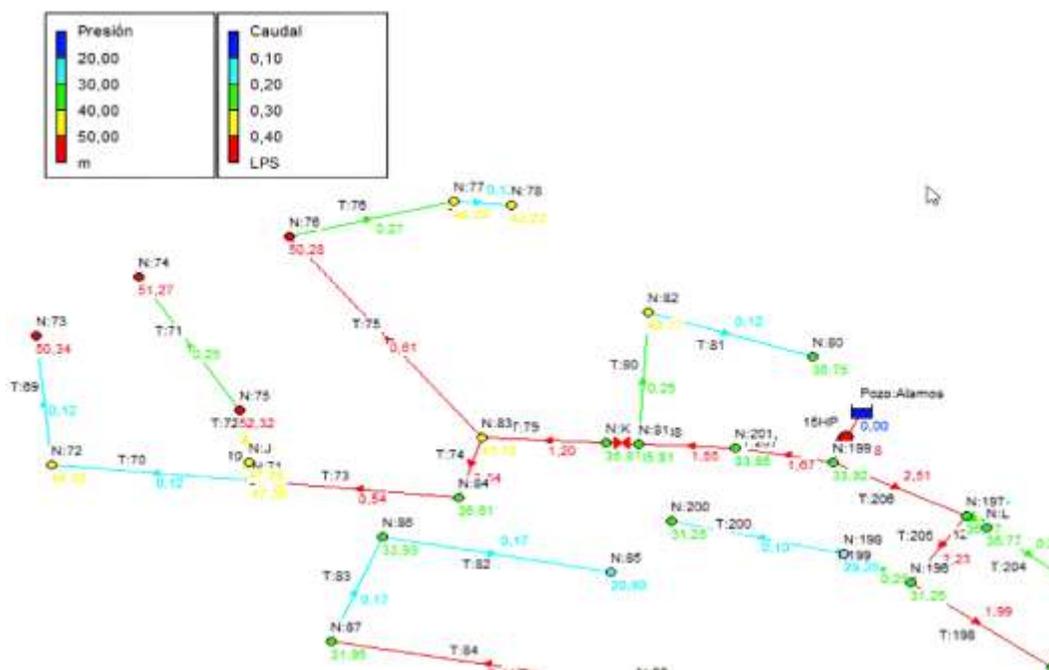


Figura 19. Pozo los Álamos.
Fuente: COSAALT Ltda.

3.8.RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE LA RED EN LAS CONDICIONES ACTUALES.

Una vez modelada la red y realizada la simulación, se analizaron los resultados obtenidos para poder establecer los nudos, tuberías y/o sectores en donde exista un funcionamiento deficiente, de tal forma poder proponer soluciones para estos problemas. A continuación, se muestran las zonas más críticas del sistema:



encuentran entre los 2.001 y los 10.000 habitantes, la presión dinámica mínima será 10 m.c.a), estos nudos son, N-96, N-97 y N-98, aunque el nudo 96 se encuentra muy cerca con 9,9 m.c.a. para los nudos 97 y 98 las presiones son 7,07 y 5,08 m.c.a respectivamente. Los resultados más detallados de la simulación los encontramos en el **Anexo 5**.

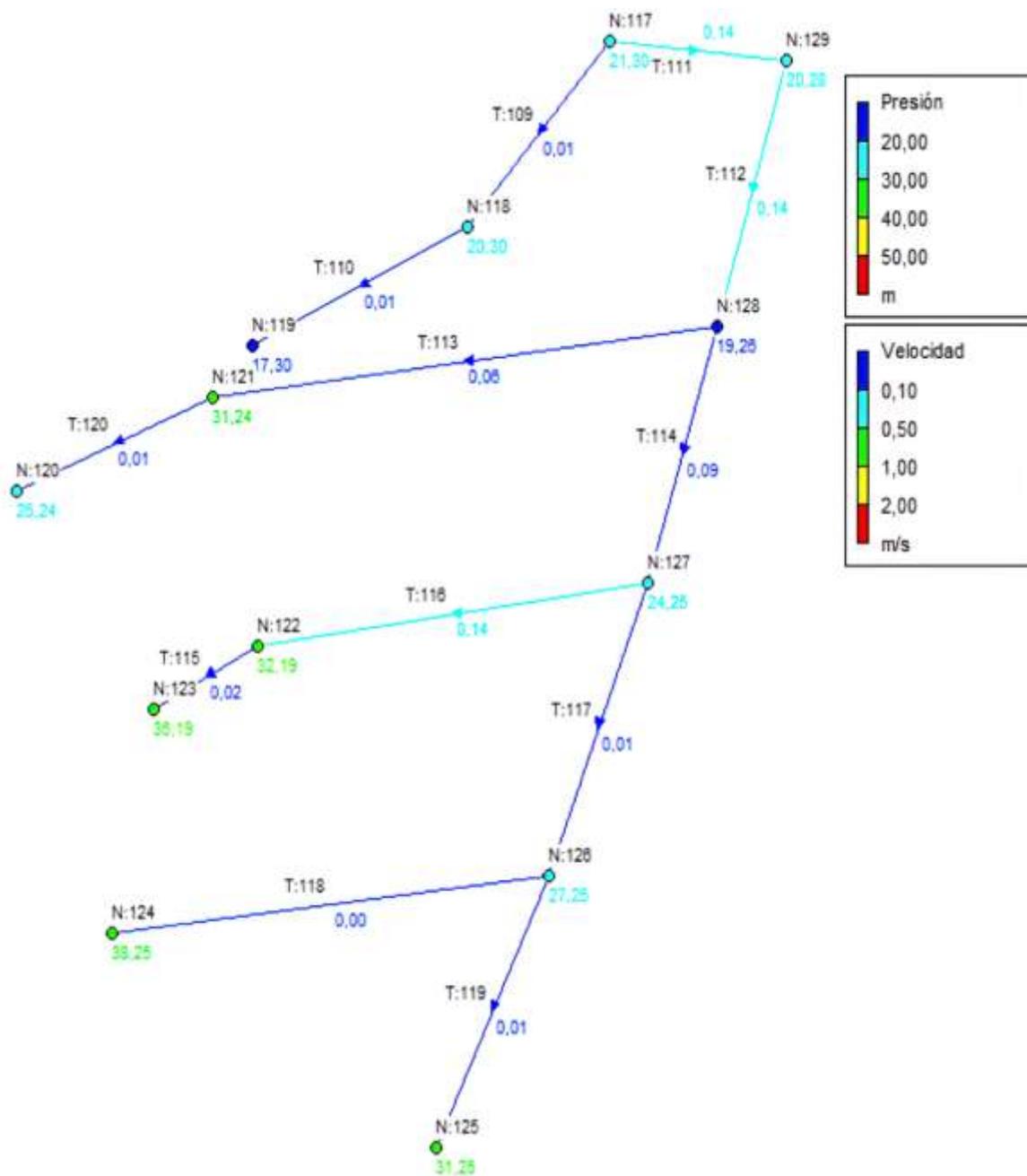


Figura 21. Resultado de la simulación presiones y velocidades (ampliación 2018).

Fuente: Elaboración propia.

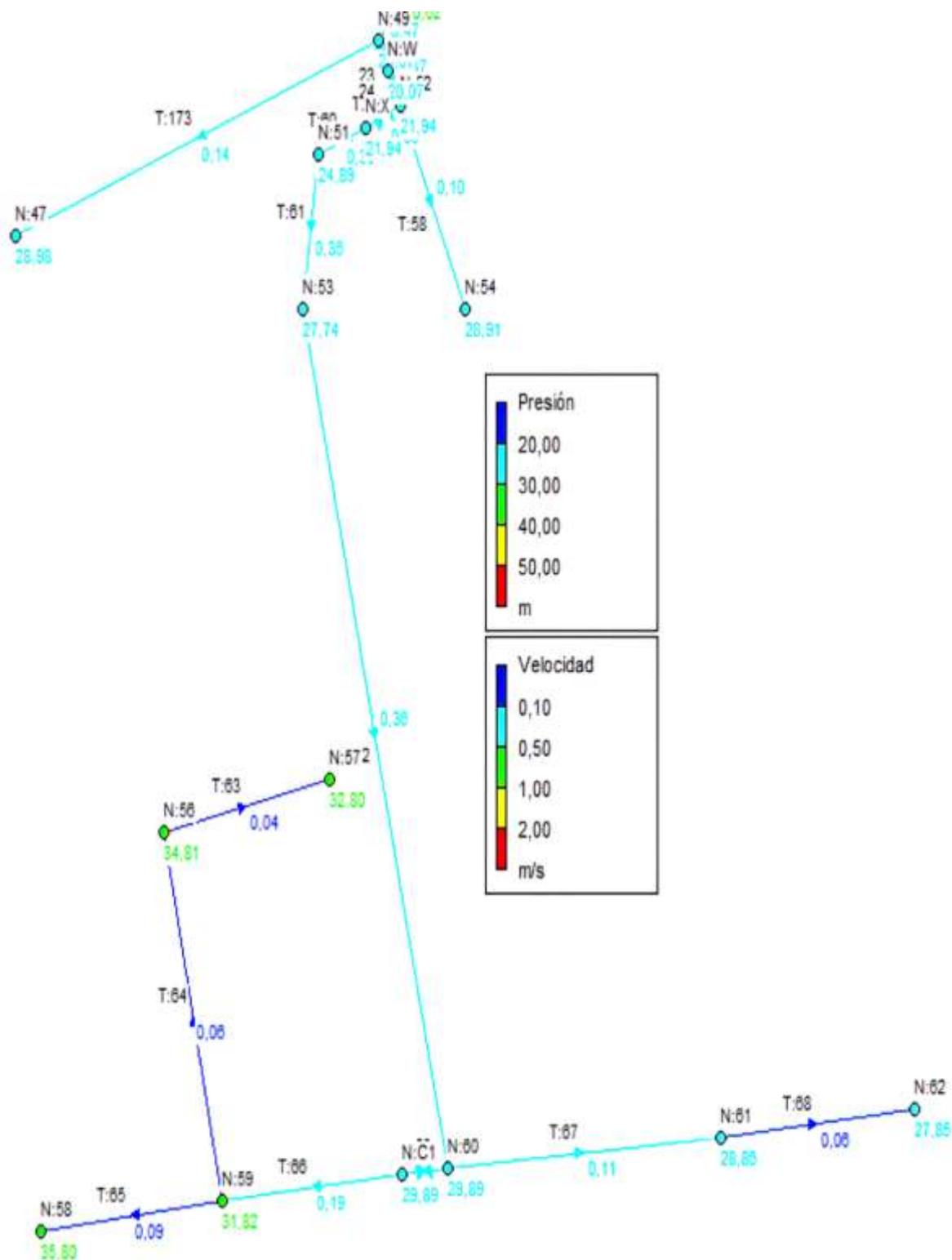


Figura 22. Resultado de la simulación presiones y velocidades (ampliación 2015).

Fuente: Elaboración propia.

3.9.SECTOR 27 CONSUMOS MENSUALES.

El abastecimiento del sector 27 es por medio del pozo “**Tomatas C**”, el cual está conectado directamente a la red y su población es la siguiente.

Tabla 14.

Población del sector 27.

Año	2014	2015	2016	2017	2018
Familias con medidor	74	80	80	84	89
Familias sin medidor	94	88	88	84	79
Total	168	168	168	168	168

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de COOSAALT R.L.

Los consumos de la red son de aquellas familias que cuentan con un medidor.

Tabla 15.

Consumos mensuales de los usuarios del sector 27.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
2014	2535	1929	2221	2178	2331	2232
2015	2842	2425	2153	2209	2320	2211
2016	2610	2529	1974	2570	2126	2302
2017	3029	2351	2445	2435	2322	2082
2018	2728	2567	2329	2902	2661	2563
Total (m ³ /mes)	13744	11801	11122	12294	11760	11390

Año	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2014	1798	2050	2095	2462	2573	2279
2015	2116	2420	2212	2268	2716	2556
2016	2195	2079	2675	2304	2488	2295
2017	2047	2462	2222	2327	2826	2296
2018	2714	2669	3271	2824	3209	2941
Total (m ³ /mes)	10870	11680	12475	12185	13812	12367

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de COSAALT R.L.

El número de habitantes en el sector es de 445, esto resulta al multiplicar las 89 familias con medidor del año 2018 por 5, que es en promedio el número de integrantes por familia.

Tabla 16.

Cálculo de la dotación media diaria (L/h-d).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Total (m ³ /mes)	13744	11801	11122	12294	11760	11390
Promedio Día (L/d)	2748,8 31	2360,2 29	2224,4 31	2458,8 30	2352 31	2278 30
Dotación (L/h-d)	88670,97	81386,21	71754,84	81960	75870,97	75933,33

	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL (m ³ /mes)	10870	11680	12475	12185	13812	12367
Promedio Día (L/d)	2174 31	2336 31	2495 30	2437 31	2762,4 30	2473,4 31
Dotación (L/h-d)	70129,03	75354,84	83166,67	78612,9	92080	79787,1

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de COSAALT R.L.

Caudal Medio Diario.

El número de familias en el sector 27 es de 168, para tener el total de habitantes en el sector debemos multiplicarlo por 5, eso nos da 840 habitantes.

$$Q_{md} = \frac{840 \times 119}{86400} = 1,16 \text{ L/s}$$

Caudal Máximo Diario.

$$Q_{max.d} = K_1 \times Q_{md}$$

$$Q_{max.d} = 1,20 \times 1,16 = 1,39 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Caudal Máximo Horario.

$$Q_{\max.h} = K_2 \times Q_{\max.d}$$

Población (habitantes)	Coefficiente k_2
Hasta 2 000	2,20 – 2,00
De 2 001 a 10 000	2,00 – 1,80
De 10 001 a 100 000	1,80 – 1,50
Más de 100 000	1,5

Fuente: Norma Técnica de Diseño para Sistemas de Agua Potable NB 689.

$$Q_{\max.h} = 1,50 \times 1,39 = 2,09 \frac{L}{s}$$

3.10. CAUDALES AFORADOS EN EL SECTOR 27.**3.10.1. POZO TOMATAS C.****Tabla 17.**

Caudales aforados pozo Tomatas C

Hora (h)	Caudal (l/s)
10:10	4,60
10:20	4,62
10:30	4,65
10:40	4,61
10:50	4,49
11:00	4,67
11:10	4,57
11:20	4,55
11:30	4,56
11:40	4,48
11:50	4,50
12:00	4,49
12:10	4,65
12:20	4,46
12:30	4,52
12:40	4,53
12:50	4,58
13:00	4,55
13:10	4,57

Fuente: Elaboración propia.

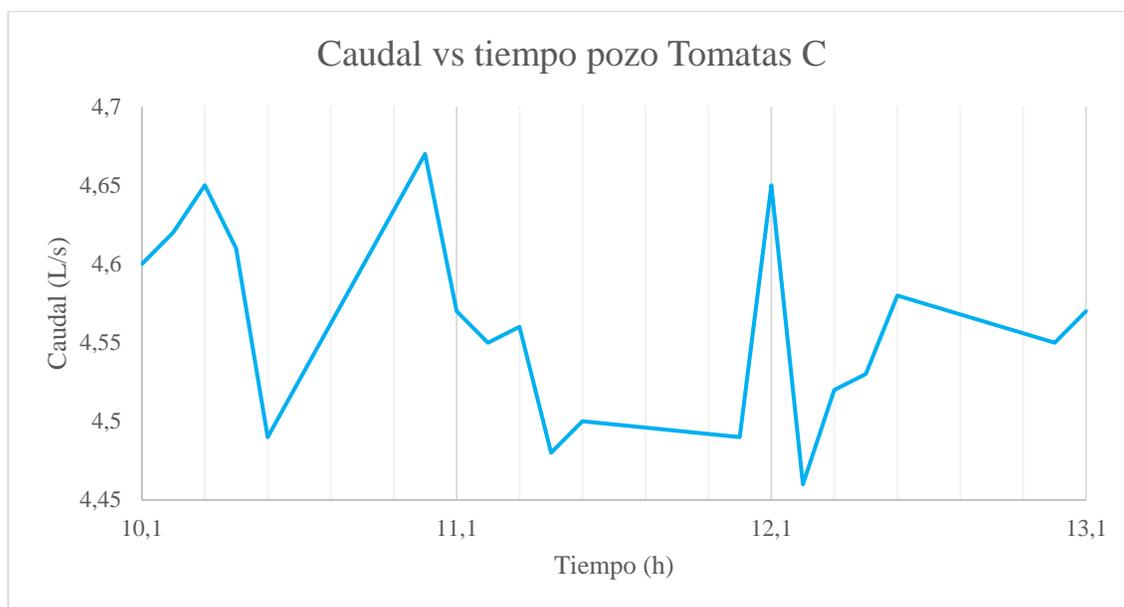


Figura 23. Variaciones horarias de consumos pozo Tomatas C.
Fuente: elaboración propia.

3.10.2. POZO EL BOSQUECILLO.

Tabla 18.

Caudales aforados pozo el bosquecillo.

Hora (h)	Caudal (l/s)	Hora (h)	Caudal (l/s)
	21,71	11:35	21,06
9:25	21,78	11:45	21,02
9:35	21,70	11:55	21,05
9:45	21,71	12:50	21,04
9:55	21,7	12:15	21,02
10:5	21,75		
10:15	21,45		
10:25	21,17		
10:35	21,10		
10:45	21,01		
10:55	21,02		
11:5	20,46		
11:15	20,48		
11:25	21,03		

Fuente: Elaboración propia.

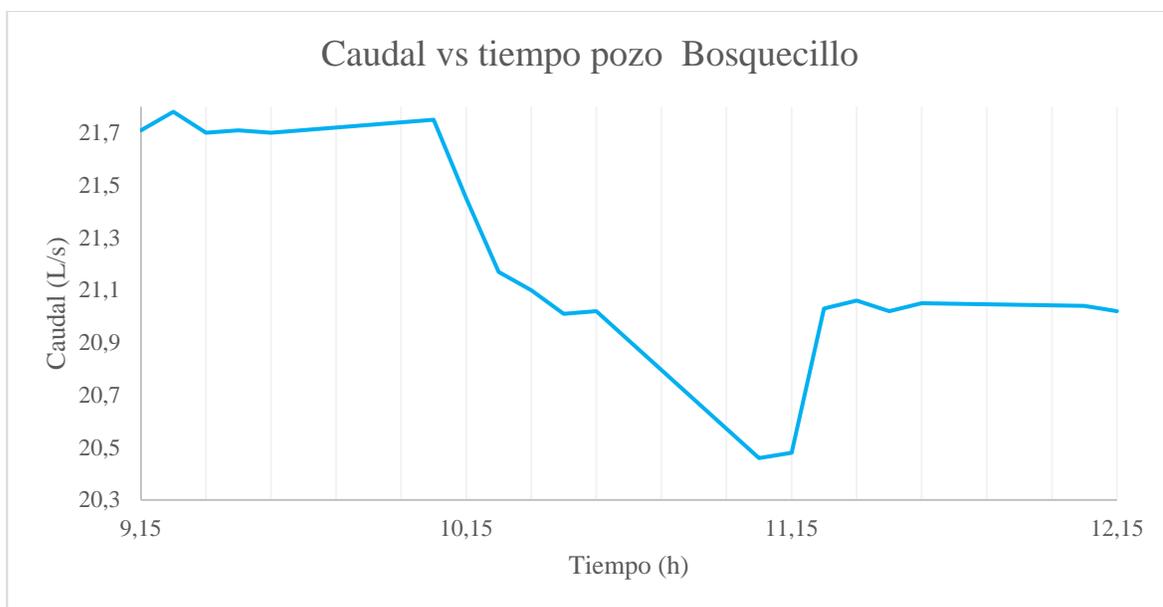


Figura 24. Variaciones horarias de consumos pozo el Bosquecillo.

Fuente: Elaboración propia.

3.11. ESCENARIO DE SIMULACIÓN I SECTOR 27: CONDICIONES ACTUALES.

3.11.1. ASIGNACIÓN DE DEMANDAS.

Una vez contabilizados los lotes circundantes a cada uno de los nudos, se completó una planilla para conocer la demanda de estos y la población total. El conteo de los lotes se realizó mediante fotografías satelitales obtenidas desde Google Earth y recorridos por el sector, verificando que los lotes contabilizados se encuentren habitados. A continuación, se presenta una tabla con los caudales en cada nudo, la información completa la encontramos en el **Anexo4**.

Tabla 19.
Caudales de consumo.

Nudo	Caudal (l/s)	Nudo	Caudal (l/s)
1	0,33	26	0,14
2	0,62	27	0,03
3	0	28	0,60
4	0	29	0
5	0,03	175	0,05
6	0	209	0
7	0,05	210	0
8	0	211	0
9	0,08	212	0
10	0,05	213	0
11	0,19	214	0
12	0,08	215	0
13	0	216	0
14	0,14	217	0
15	0,19	218	0,11
16	0,16	219	0,05
17	0,08	220	0,08
18	0	221	0
19	0,22	222	0,14
20	0,03	223	0,05
21	0,03	224	0,03
22	0,11	225	0,08
23	0,08	226	0
24	0,14	227	0
25	0,60	A	0,05

Fuente: Elaboración propia.

3.11.2. DATOS DE LAS FUENTES.

Tabla 20.
Datos del pozo Tomatas C.

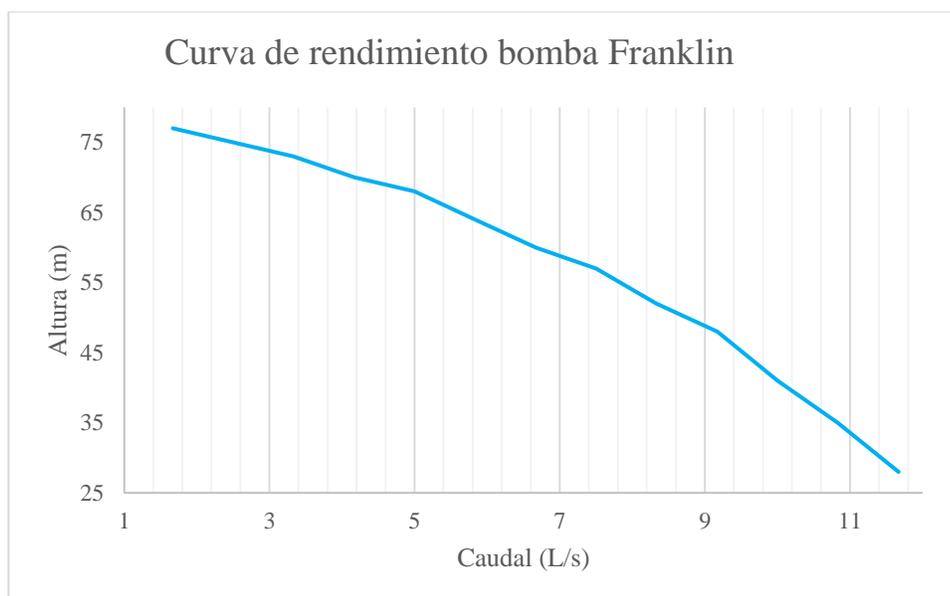
Pozo Tomatas C	Unidad
Caudal	4,67 l/s
Horas de Bombeo	17 h
Potencia de Bomba	10 HP
Marca	FRANKLIN
Profundidad de la Bomba	63 m

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21.*Datos de rendimiento de la bomba de 10 HP.*

Caudal (l/s)	Altura (m)
1,67	77
2,50	75
3,33	73
4,17	70
5:00	68
5,83	64
6,67	60
7,50	57
8,33	52
9,17	48
10:00	41
10,83	35
11,67	28

Fuente: Catalogo Industrial Sumergible FRANKLIN.

**Figura 25.** *Curva de rendimiento bomba de 10 HP.*

Fuente: Catalogo Industrial Sumergible FRANKLIN, p. 5, copyright por Motor Mob.

A continuación, se presenta un perfil del pozo:

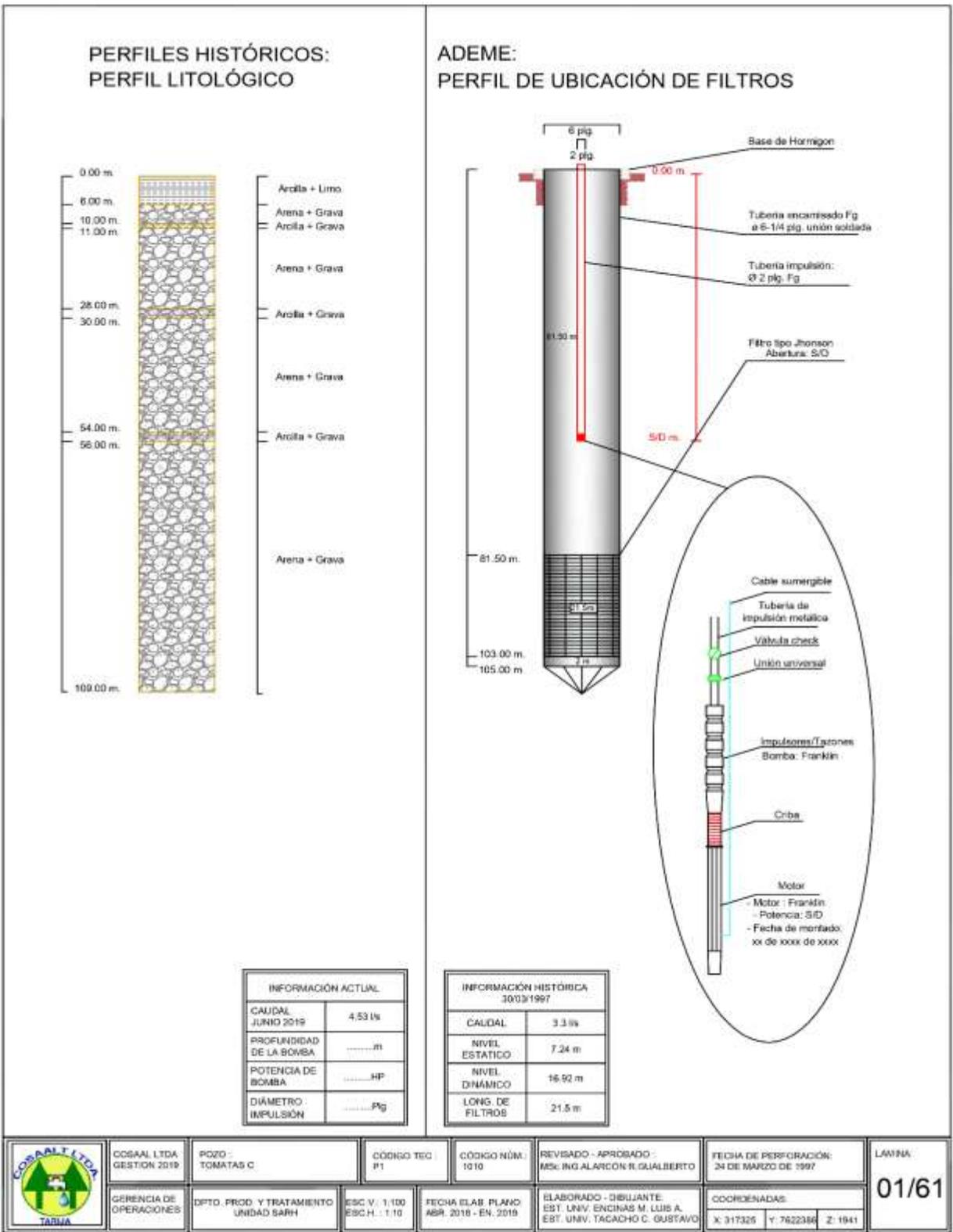


Figura 26. Pozo Tomatas C.
Fuente: COSAALT R.L.

3.12. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE LA RED EN LAS CONDICIONES ACTUALES.

Realizada la simulación, se analizaron los resultados obtenidos y se estableció los nudos, tuberías y/o sectores en donde exista un funcionamiento deficiente. A continuación, se muestran las zonas que conforman el sistema:

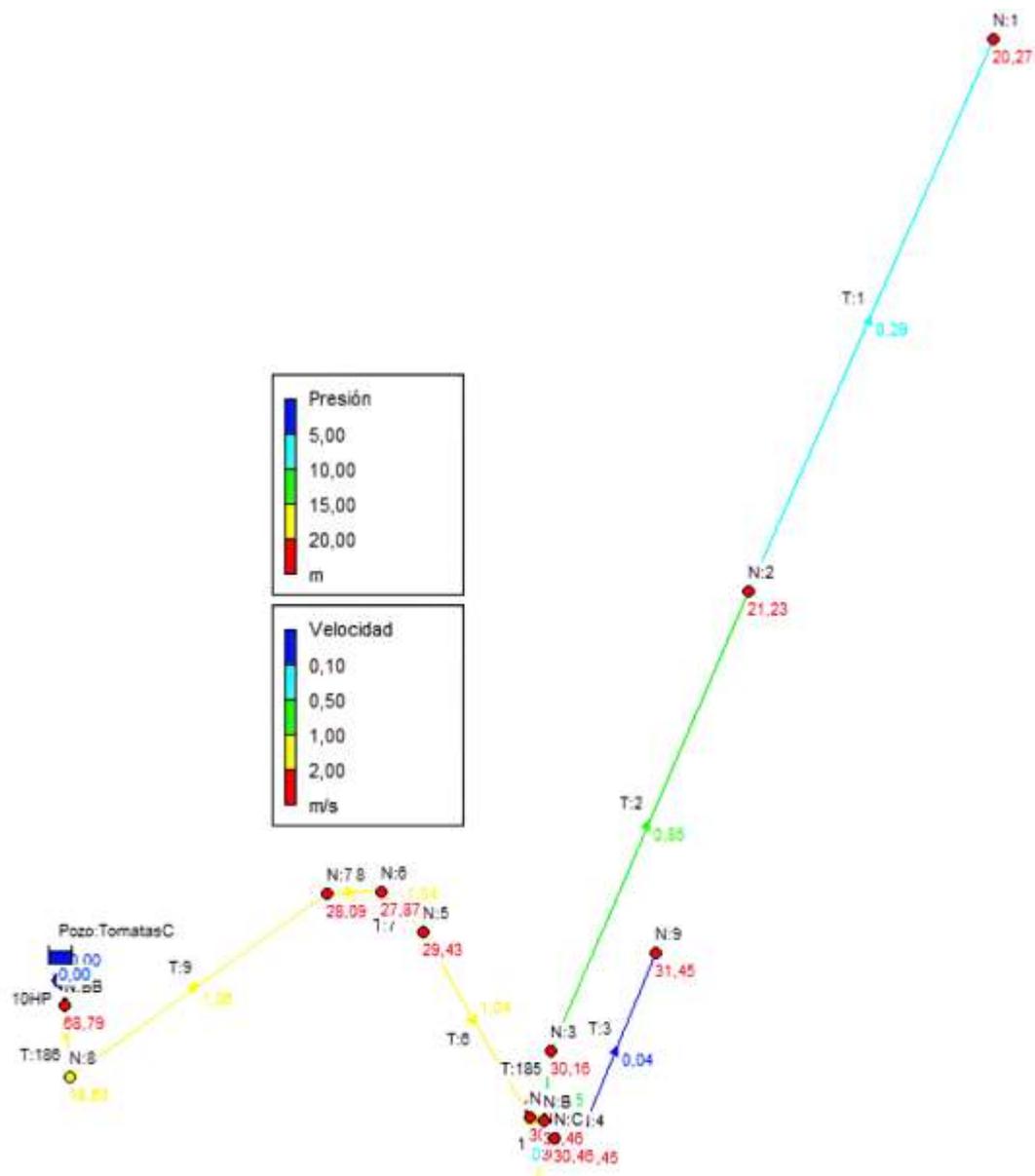


Figura 27. Resultados de la simulación, presiones y velocidades.
Fuente: Elaboración propia.

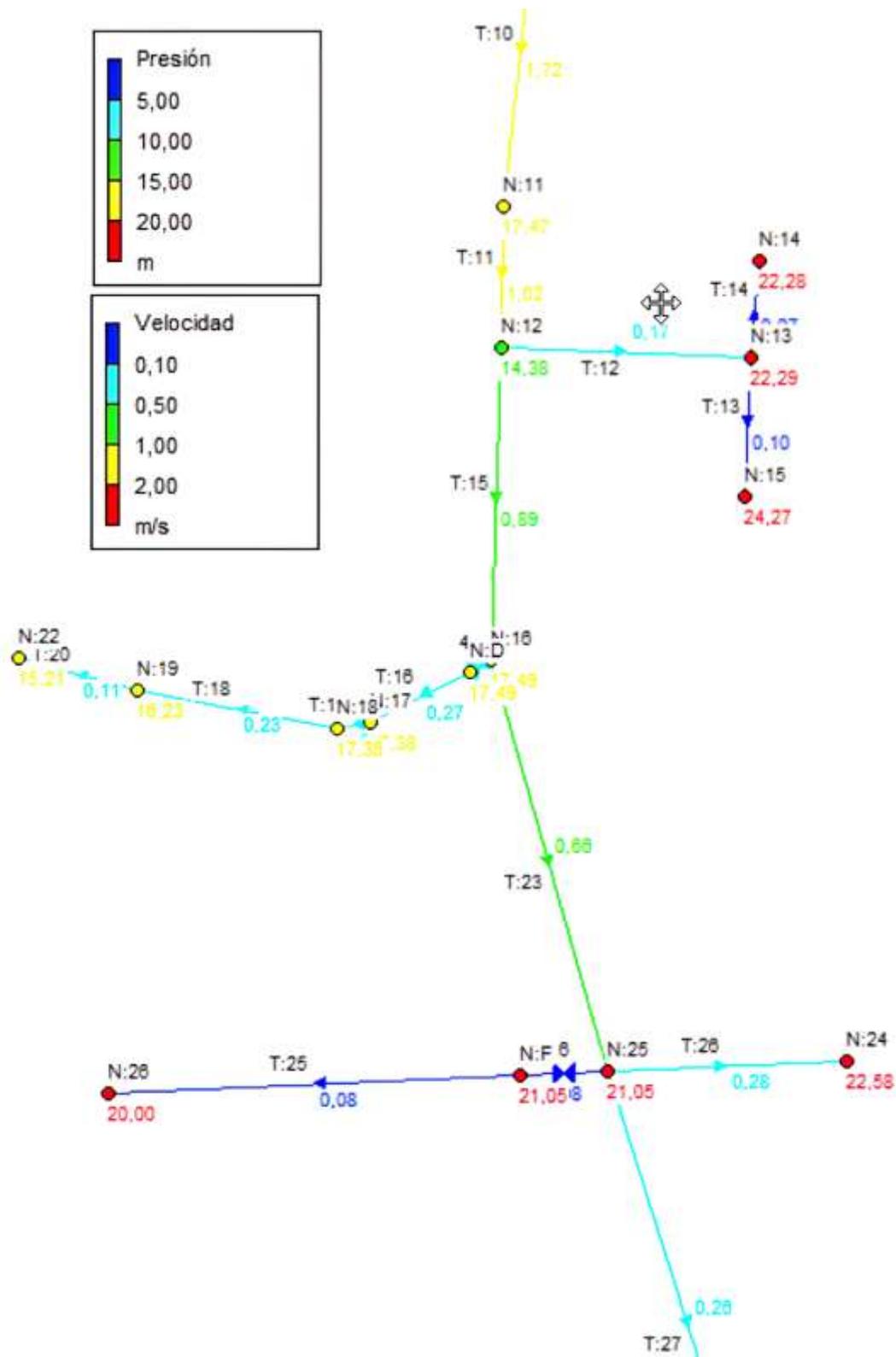


Figura 28. Resultado de la simulación, presiones y velocidades Tomatitas.
 Fuente: Elaboración propia.

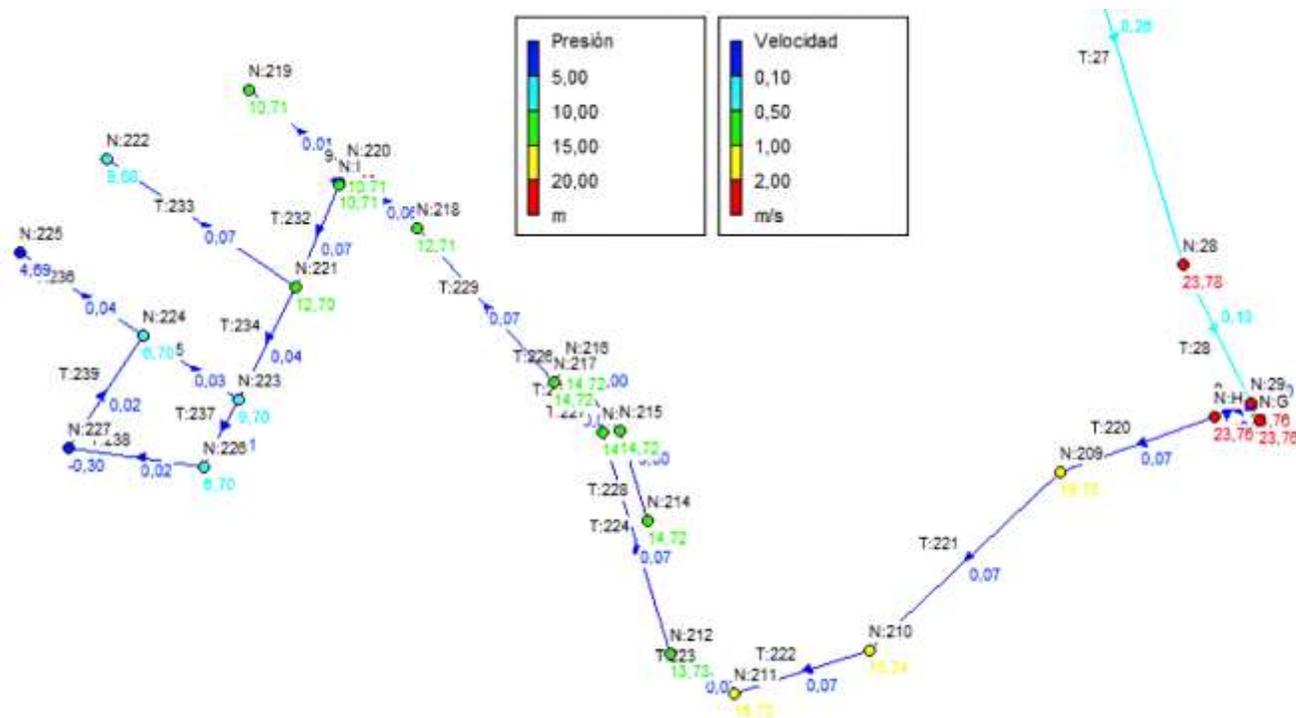


Figura 29. Resultado de la simulación, presiones y velocidades (urbanización el callejón de la Victoria).

Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera que en el sector 17, en el sector 27 se evidencia que las presiones están por debajo de lo mínimo establecido en la norma (para poblaciones ≤ 2.000 habitantes, la presión dinámica mínima será 5 m.c.a), esto se presenta en el tramo final de la red, en el sector denominado urbanización el callejón de la Victoria, cuya ampliación se produjo en el año 2.015 y, los nudos cuyas presiones son muy bajas son, N-225 y el N-227, con 4,69 y 0,30 m.c.a. respectivamente. Las velocidades tampoco cumplen con lo mínimo establecido (mínimo 0,30 m/s y máximo 2 m/s), ya que en casi toda la red se encuentran por debajo de los 0,30 m/s.

Los resultados más detallados de la simulación los encontramos en el **Anexo 6**.

3.13. ZONA OBRAJES.

3.13.1. CÁLCULO DE LA POBLACIÓN.

Nº de habitantes por familia: 5.

P₀: Población actual, 445 habitantes (89 familias).

i: Índice de crecimiento poblacional, 2,6 %.

t: Periodo de diseño, 40 años.



Figura 30. Zona de Obrajes.

Fuente: Elaboración propia.

3.13.2. POBLACIÓN FUTURA (P_f).

Aritmético.

$$P_f = P_o \left(1 + \frac{i \times t}{100} \right)$$

$$P_f = 445 \times \left(1 + \frac{2,6 \times 40}{100} \right)$$

$$P_f = 907,8 \text{ Habitantes.}$$

Geométrico.

$$P_f = P_o \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$$

$$P_f = 445 \times \left(1 + \frac{2,6}{100}\right)^{40}$$

$$P_f = 1240 \text{ h.}$$

Se tomará el valor del método geométrico para fines de cálculo.

3.13.3. DOTACIÓN FUTURA (D_f).

D_o: Dotación inicial, 90 L/h – d.

d: Variación de la dotación, 2 %.

$$D_f = D_o \left(1 + \frac{d}{100}\right)^t$$

$$D_f = 90 \times \left(1 + \frac{2}{100}\right)^{40}$$

$$D_f = 198,72 \frac{\text{L}}{\text{h} - \text{d}}$$

Tabla 22.

Dotación media diaria.

Zona	Población (habitantes)					
	Hasta 500	De 501 a 2 000	De 2 001 a 5 000	De 5 001 a 20 000	De 20 001 a 100 000	Más de 100 000
Del Altiplano	30 - 50	30 - 70	80 - 100	80 - 100	100 - 150	150 - 200
De los Valles	50 - 70	50 - 90	100 - 140	100 - 140	150 - 200	200 - 250
De los Llanos	70 - 90	70 - 110	120 - 180	120 - 180	200 - 250	250 - 350

Fuente: Norma Boliviana NB 689.

La ciudad de Tarija se encuentra en la zona de los valles y en la categoría de “De 501 a 2.000” para lo cual le correspondería tal dotación (90 L/h – d).

3.13.4. CAUDAL MEDIO DIARIO (Q_{md}).

$$Q_{md} = \frac{P_f D_f}{86400}$$

$$Q_{md} = \frac{1.240 \text{ h} \times 198,72}{86400} = 2,85 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

3.13.5. CAUDAL MÁXIMO DIARIO ($Q_{\max. d}$).

$$Q_{\max. d} = K_1 Q_{md}$$

$$Q_{\max. d} = 1,5 \times 2,85 = 4,28 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

3.13.6. CAUDAL MÁXIMO HORARIO ($Q_{\max. h}$).

$$Q_{\max. h} = K_2 Q_{\max. d}$$

$$Q_{\max. h} = 2,2 \times 4,28 = 9,41 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Para una población de 1240 habitantes, el coeficiente K_2 lo obtenemos de la siguiente tabla.

Tabla 23.

Valores *del coeficiente K2.*

Población (habitantes)	Coeficiente k_2
Hasta 2 000	2.20 – 2.00
De 2 001 a 10 000	2.00 – 1.80
De 10 001 a 100 000	1.80 – 1.50
Más de 100 000	1.5

Fuente: Norma Boliviana NB 689.

La zona de obraje cuenta con áreas verdes cuya superficie es de 14.087,07 m² y, según el Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias, la dotación de agua para jardines y áreas verdes es de 5 l/ m² d.

$$Q_{a.verdes} = \frac{14087,07 \times 5}{86400} = 0,82 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

El caudal de diseño es de 9,41 L/s + 0,82 L/s = **10,23 L/s.**

Tabla 24.
Elevación y caudal en cada nudo de la red de Obrajes.

Nudo	Cota (m.s.n.m.)	Nudo	Demanda (l/s)
N:248	1965	N:248	0,00
N:249	1962	N:249	0,37
N:250	1959	N:250	0,25
N:251	1956	N:251	0,29
N:252	1960	N:252	0,21
N:253	1958	N:253	0,21
N:254	1958	N:254	0,62
N:255	1947	N:255	0,00
N:256	1945	N:256	0,25
N:257	1946	N:257	0,50
N:258	1939	N:258	0,54
N:259	1930	N:259	0,58
N:260	1932	N:260	0,33
N:263	1960	N:263	0,33
N:264	1962	N:264	0,17
N:265	1959	N:265	0,37
N:266	1963	N:266	0,78
N:267	1962	N:267	0,12
N:269	1952	N:269	0,33
N:270	1957	N:270	0,58
N:271	1953	N:271	0,50
N:272	1953	N:272	0,08
N:273	1944	N:273	0,50
N:276	1942	N:276	0,37
N:278	1948	N:278	0,21
N:279	1947	N:279	0,08
N:280	1942	N:280	0,62
N:281	1944	N:281	0,54
N:283	1953	N:283	0,33
N:284	1952	N:284	0,00
N:285	1963	N:285	0,17
D:1	1972	D:1	-10,23

Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos iniciales se realizó la modelación y simulación de la red de obrajes como se muestra en la siguiente figura, los resultados de la simulación la encontramos en el **Anexo 8**.

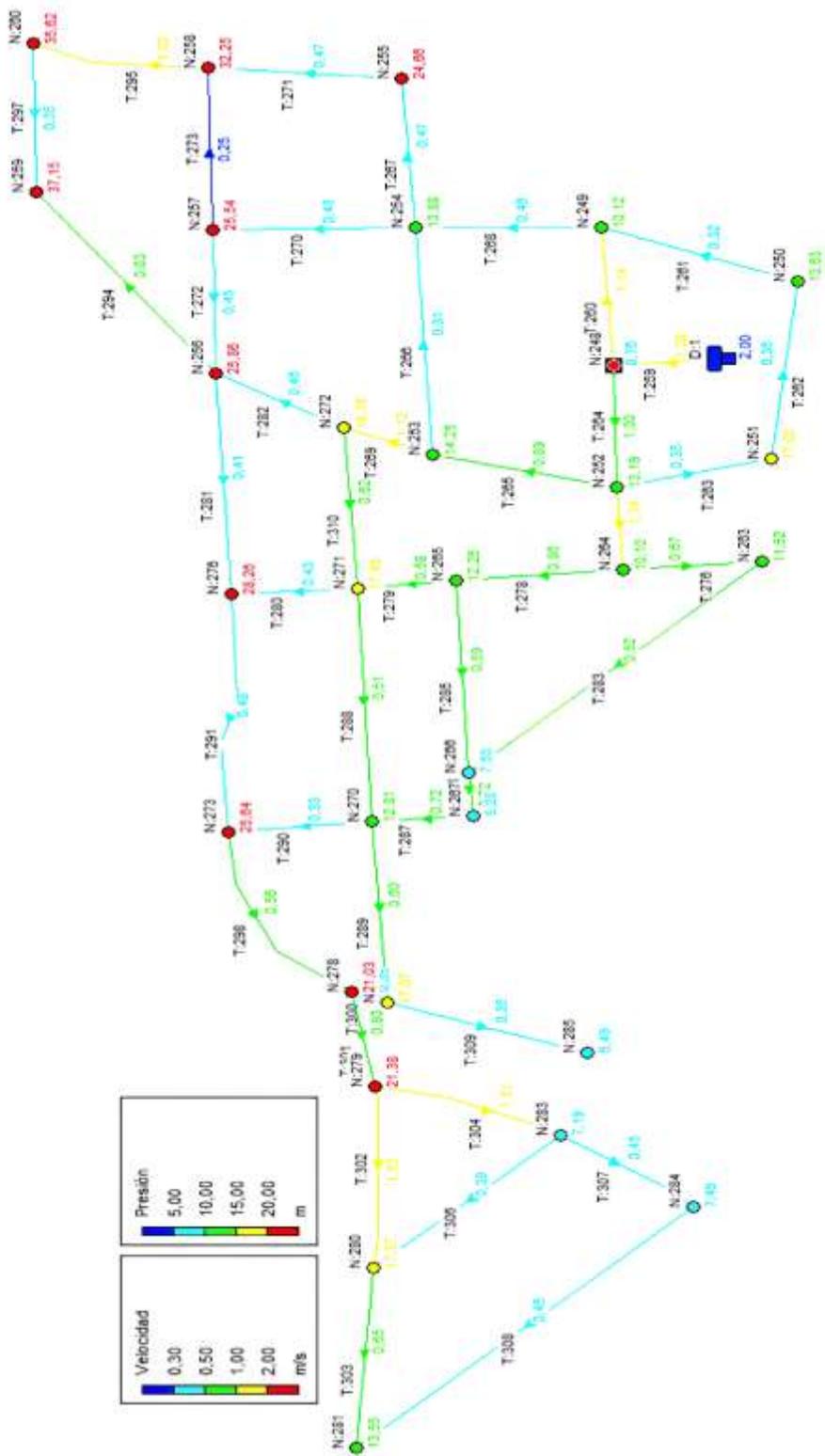


Figura 31. Resultados de la simulación zona Obrajes.
 Fuente: Elaboración propia.

3.14. ESCENARIO DE SIMULACIÓN II SECTOR 17: CONDICIONES FUTURAS.

En este escenario de simulación se proyectó el crecimiento de la población, así como el reacondicionamiento de la red con el objetivo de que la misma pueda brindar el servicio de agua potable, tanto a la población actual como a la futura, de forma correcta y sin problemas de funcionamiento. Con el reacondicionamiento se tiene como objetivo, garantizar presiones mínimas de 10 m.c.a. y, velocidades que se encuentren entre 0,30 y 2 m/s.

3.14.1. CÁLCULO DE LA POBLACIÓN Y CAUDAL DE DISEÑO.

N° de habitantes por familia, 5.

P₀: Población actual, 3250 habitantes (650 familias).

i: Índice de crecimiento poblacional, 2,6 %.

t: Periodo de diseño, 10 años.

3.14.2. POBLACIÓN FUTURA (P_f).

Aritmético.

$$P_f = P_o \left(1 + \frac{i \times t}{100} \right)$$

$$P_f = 3.250 \times \left(1 + \frac{2,6 \times 10}{100} \right)$$

$$P_f = 4.095 \text{ Habitantes.}$$

Geométrico.

$$P_f = P_o \left(1 + \frac{i}{100} \right)^t$$

$$P_f = 3.250 \times \left(1 + \frac{2,6}{100} \right)^{10}$$

$$P_f = 4.201 \text{ Habitantes.}$$

Para fines de cálculo se tomará como población futura para los próximos 10 años, de 5.135 habitantes (1027 familias) debido a que este es el número total de lotes que son parte del sector.

3.14.3. DOTACIÓN FUTURA (D_f).

D_o : Dotación inicial, 100 L/h – d.

d: Variación de la dotación, 0,5 %.

$$D_f = D_o \left(1 + \frac{d}{100}\right)^t$$

$$D_f = 100 \times \left(1 + \frac{0,5}{100}\right)^{10}$$

$$D_f = 105,11 \frac{L}{\text{Hab día}}$$

La ciudad de Tarija se encuentra en la zona de los valles y en la categoría de “De 5.001 a 20.000” para lo cual le correspondería tal dotación (100 L/h – d) estos valores los obtenemos de la **Tabla 21**.

3.14.4. CAUDAL MEDIO DIARIO (Q_{md}).

$$Q_{md} = \frac{P_f D_f}{86400}$$

$$Q_{md} = \frac{5.135 \text{ Hab} \times 105,11}{86400} = 6,25 \frac{L}{s}$$

3.14.5. CAUDAL MÁXIMO DIARIO ($Q_{max.d}$).

$$Q_{max.d} = K_1 Q_{md}$$

$$Q_{max.d} = 1,5 \times 6,25 = 9,37 \frac{L}{s}$$

3.14.6. CAUDAL MÁXIMO HORARIO ($Q_{max.h}$).

$$Q_{max.h} = K_2 Q_{max.d}$$

$$Q_{max.h} = 2,2 \times 9,37 = 20,62 \frac{L}{s}$$

Para una población de 5.135 habitantes, el coeficiente K_2 lo obtenemos de la **Tabla 22**.

Dentro del sector, en el barrio Los Olivos se encuentra la Unidad Educativa Nazaria Ignacia March nivel primario, inaugurada el 18 de febrero de 2019, a continuación, se presenta un resumen detallado de los ambientes que lo componen.



Figura 32. *Unidad educativa Nazaria Ignacia March.*
Fuente: Fotografía del autor.

Tabla 25.

Ambientes de la unidad educativa Nazaria Ignacia March.

Unidad educativa Nazaria Ignacia March ambientes	
Planta Baja	Planta Alta
Oficina de Administración y Dirección	10 aulas
Sala de profesores	Sala de computación
Gabinete social	Sala para manualidades
Gabinete Psicológico	Salón de técnicas culinarias
Secretaria	Comedor para profesores
Baños	baños
Sala de reuniones	
Sala auditorio de uso múltiple	
Vivienda para sereno	
Sala de música	
Comedor	
Cocina	
Cancha polifuncional	
8 aulas	

Fuente: Elaboración propia.

La Unidad Educativa cuenta en total con 18 aulas, cada una de ellas con una capacidad para 30 alumnos y, la dotación para escuelas o colegios con alumnado externo es de 50 L/alumno día, esto nos da un caudal de 0,313 L/s, además de contar con 25 profesores cuya dotación es la misma que la anterior, dando un caudal de 0,014 L/s, por último, tenemos que la capacidad de la sala auditorio es de 120 alumnos y que la dotación es 3 L/butaca, dando un caudal de 0,1 L/s.

El sector cuenta con áreas verdes cuya superficie es de 5.235,84 m² y, según el Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias, la dotación de agua para jardines y áreas verdes es de 5 L/ m² día.

$$Q_{a.verdes} = \frac{5.235,84 \times 5}{86400} = 0,303 \frac{L}{s}$$

La red tiene una longitud total de 12.948,5 m y un coeficiente de infiltración en tuberías de 0,00005, dando un caudal de infiltración igual a 0,65 L/s. Por tanto, tenemos un caudal de diseño de $20,62 + 0,313 + 0,014 + 0,1 + 0,303 + 0,65 = \mathbf{22 L/s}$.

Tabla 26.

Dotaciones comerciales, públicas.

Dotaciones Comerciales, Públicas. Valores referenciales	
Tipo de inmueble/ Utilización	Dotación
Centros educativos, escuelas, colegios, universidades y otros similares, alumnado externo	50 L/alumno. d.
Cines, teatros y auditorios	3 L/butaca
Personal no residente	50 L/alumno. d
Áreas verdes	5 L/m ² d

Fuente: Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias 2011.

Con este nuevo caudal de diseño, se obtuvo los nuevos caudales en cada nudo de la red con los cuales se procedió a realizar una nueva simulación, los cuales se encuentran en la Tabla 26, la información más detallada la encontraremos en el **Anexo 9**.

Tabla 27.
Caudales de consumo sector 17, situación futura.

Nudo	Caudal (l/s)	Nudo	Caudal (l/s)	Nudo	Caudal (l/s)	Nudo	Caudal (l/s)	Nudo	Caudal (l/s)
N:30	0,00	N:73	0,13	N:112	0,28	N:156	0,26	N:198	0,02
N:31	0,00	N:74	0,24	N:113	0,00	N:157	0,00	N:199	0,00
N:32	0,09	N:75	0,09	N:114	0,15	N:158	0,00	N:200	0,11
N:33	0,13	N:76	0,30	N:115	1,05	N:159	0,13	N:201	0,13
N:36	0,32	N:77	0,26	N:116	0,00	N:160	0,15	N:203	0,09
N:40	0,26	N:78	0,11	N:117	0,19	N:161	0,3	N:204	0,11
N:41	0,09	N:80	0,11	N:119	0,19	N:162	0,00	N:205	0,11
N:42	0,21	N:81	0,09	N:120	0,19	N:164	0,00	N:206	0,00
N:43	0,21	N:82	0,19	N:121	0,21	N:165	0,00	N:207	0,00
N:44	0,36	N:83	0,09	N:122	0,34	N:166	0,02	N:169	0,11
N:45	0,45	N:84	0,00	N:123	0,24	N:167	0,02	P: Álamos	-4,71
N:46	0,30	N:85	0,17	N:124	0,45	N:168	0,13	D:2	-17,26
N:47	0,34	N:86	0,00	N:125	0,28	N:170	0,00		
N:49	0,02	N:87	0,30	N:126	0,17	N:171	0,28		
N:50	0,04	N:88	0,02	N:127	0,15	N:172	0,00		
N:51	0,00	N:89	0,06	N:128	0,19	N:173	0,15		
N:52	0,00	N:90	0,00	N:129	0,00	N:174	0,21		
N:53	0,00	N:91	0,24	N:132	0,19	N:177	0,13		
N:54	0,19	N:92	0,24	N:135	0,21	N:178	0,00		
N:56	0,09	N:93	0,04	N:136	0,26	N:180	0,06		
N:57	0,43	N:95	0,41	N:137	0,13	N:182	0,11		
N:58	0,21	N:97	0,66	N:138	0,19	N:183	0,11		
N:59	0,21	N:98	0,47	N:139	0,11	N:184	0,11		
N:60	0,54	N:99	0,34	N:140	0,02	N:185	0,09		
N:61	0,26	N:100	0,04	N:142	0,19	N:186	0,06		
N:62	0,47	N:101	0,00	N:144	0,21	N:187	0,17		
N:63	0,04	N:102	0,00	N:145	0,11	N:188	0,00		
N:64	0,30	N:103	0,00	N:148	0,00	N:189	0,00		
N:65	0,06	N:104	0,26	N:149	0,00	N:191	0,04		
N:66	0,28	N:105	0,28	N:150	0,17	N:192	0,13		
N:67	0,17	N:106	0,00	N:151	0,00	N:193	0,09		
N:68	0,02	N:108	0,11	N:152	0,06	N:194	0,43		
N:70	0,19	N:109	0,09	N:153	0,15	N:195	0,00		
N:71	0,06	N:110	0,04	N:154	0,11	N:196	0,00		
N:72	0,00	N:111	0,15	N:155	0,00	N:197	0,00		

Fuente: Elaboración propia.

3.15. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE LA RED EN LAS CONDICIONES FUTURAS SECTOR 17.

Del mismo modo que en el escenario anterior se realizó la simulación del sector, pero en condiciones futuras, para garantizar las presiones y velocidades se reacondiciono el 55% de las tuberías, para esto se tomó en cuenta que, a mayor diámetro se producirá menor velocidad del flujo y mayor presión de llegada en la tubería y, a menor diámetro tendremos mayor velocidad pero menor presión, a continuación, se presenta una comparación de los diámetros que se cambiaron, la información más detallada la tenemos en el **Anexo 10**.

Tabla 28.

Comparación de diámetros de la red.

Tubería	Nudo Inicial	Nudo Final	Actual Diámetro (mm)	Futura Diámetro (mm)	Tubería	Nudo Inicial	Nudo Final	Actual Diámetro (mm)	Futura Diámetro (mm)
T:29	D:2	N:30	50	50	T:67	N:60	N:61	50	50
T:30	N:30	N:31	50	50	T:68	N:61	N:62	50	38
T:31	N:31	N:32	50	50	T:69	N:72	N:73	50	25
T:32	N:32	N:33	50	50	T:70	N:71	N:72	50	25
T:38	N:40	N:41	75	75	T:71	N:75	N:74	50	25
T:40	N: B1	N:42	50	25	T:72	N: J	N:75	50	38
T:41	N: A1	N:45	50	50	T:73	N:84	N:71	50	38
T:42	N:33	N:44	50	50	T:74	N:83	N:84	50	38
T:43	N:43	N:36	50	38	T:75	N:83	N:76	50	50
T:44	N: Z	N:43	50	38	T:76	N:76	N:77	50	25
T:45	N:44	N: Y	50	25	T:77	N:77	N:78	50	25
T:46	N:45	N:46	50	50	T:79	N: K	N:83	75	75
T:47	N:46	N:63	50	38	T:80	N:81	N:82	50	25
T:48	N:63	N:64	50	25	T:81	N:82	N:80	50	25
T:49	N:106	N:68	50	50	T:82	N:86	N:85	50	25
T:50	N:68	N:70	50	25	T:83	N:87	N:86	50	25
T:52	N:68	N:66	50	50	T:84	N:88	N:87	50	38
T:53	N:66	N:67	25	25	T:85	N:89	N:88	50	38
T:54	N:66	N: T	50	50	T:86	N:90	N:89	50	50
T:55	N:65	N:50	50	50	T:87	N:90	N:92	25	25

Fuente: Elaboración propia.

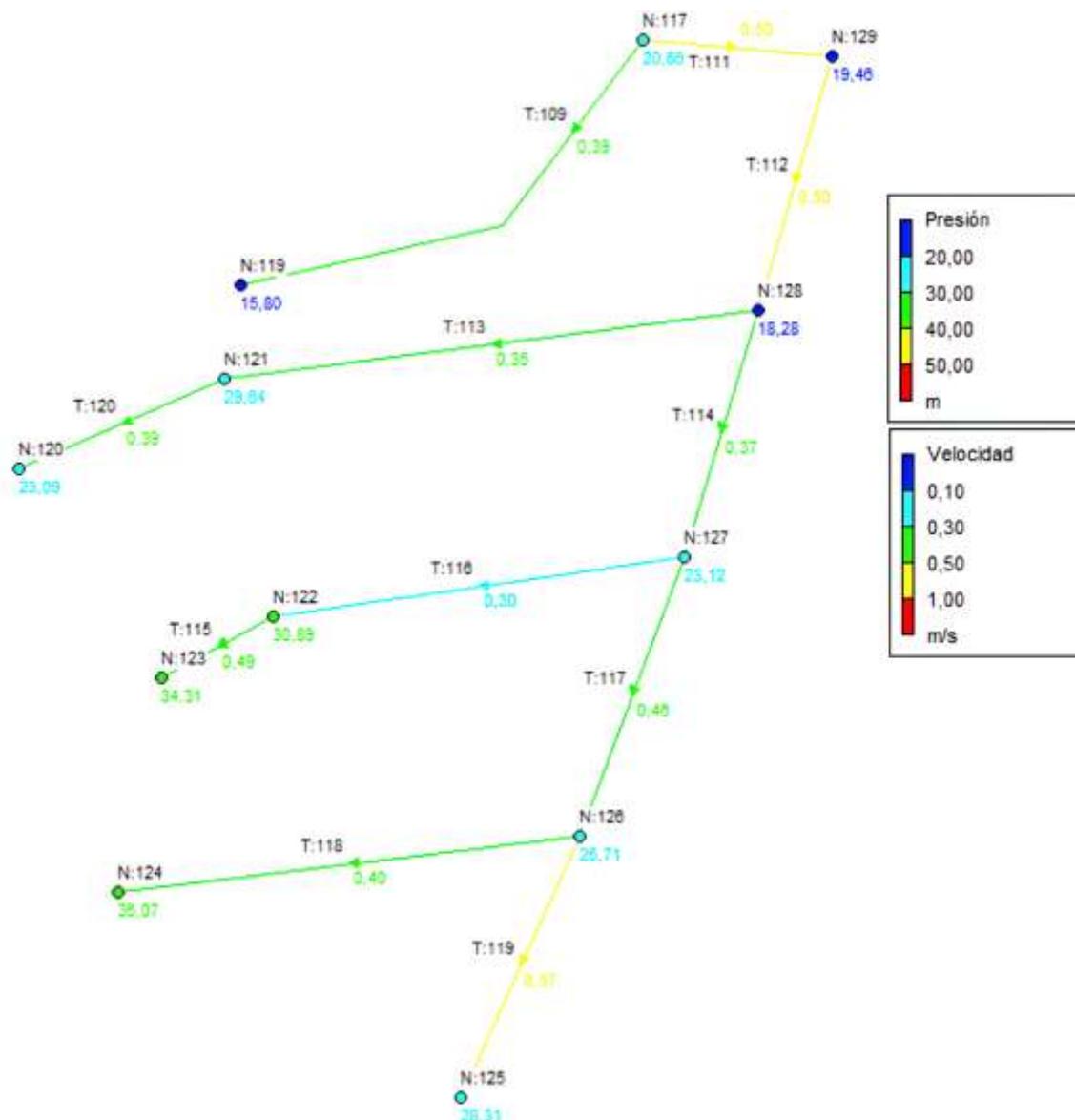


Figura 33. Resultado de la simulación presiones y Velocidades (ampliación 2.018) situación futura.

Fuente: Elaboración propia.

Una de las zonas dentro del sector 17 que no cumplían con las velocidades mínimas es la denominada ampliación 2.018, tanto en las condiciones actuales como en las condiciones futuras no se garantizaba la autolimpieza del sector, es por eso que se cambiaron los diámetros de las tuberías T109, T113, T120, T115, T116, T117, T118 y T119, garantizando así velocidades mayores o iguales a 0,30 m/s y presiones mayores a los 10 m.c.a.

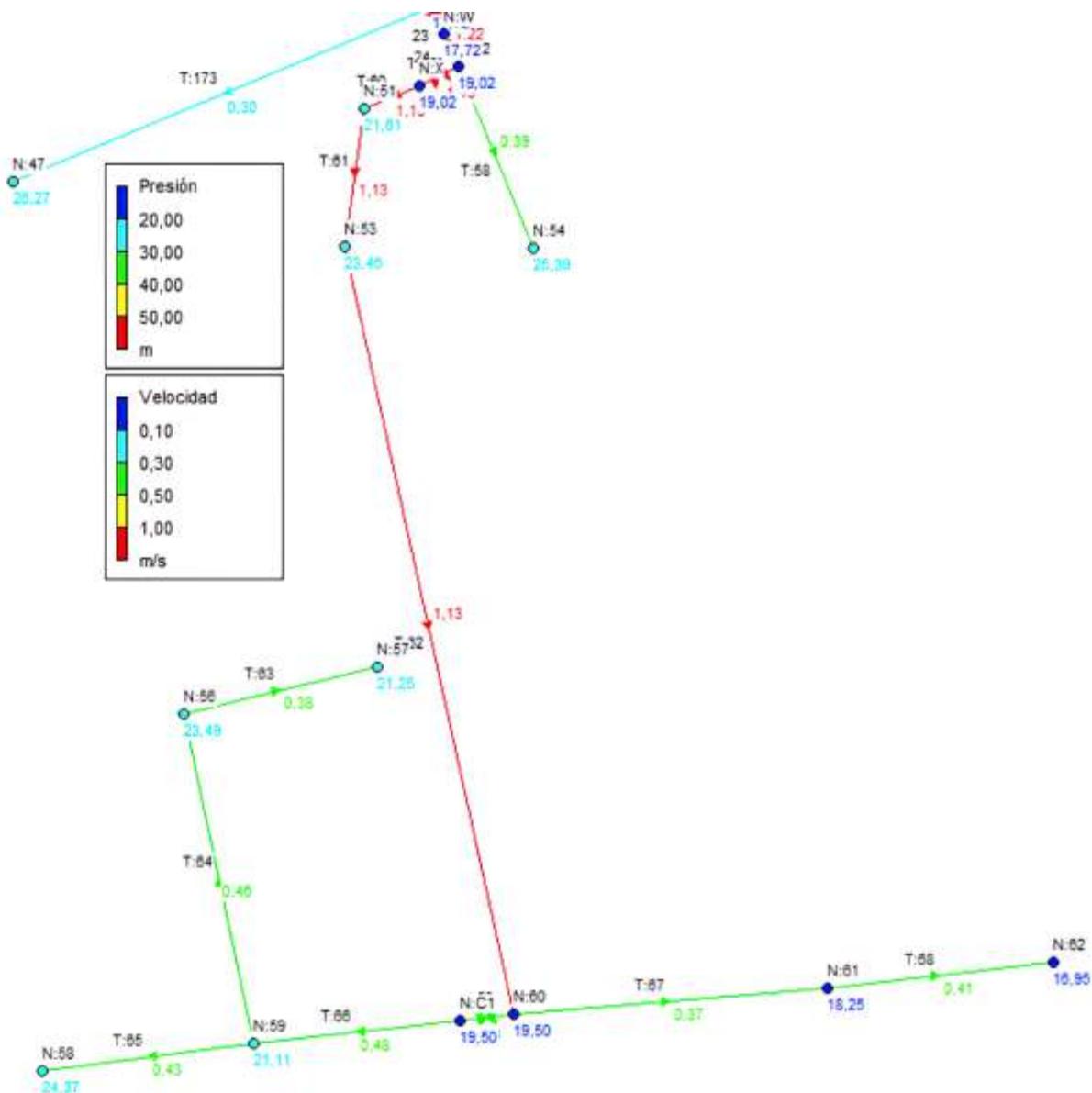


Figura 34. Resultado de la simulación presiones y velocidades (ampliación 2.015) situación futura.

Fuente: Elaboración propia.

Ampliaciones 2.015 es otra zona crítica dentro del sector 17, cuyas velocidades eran menores a las mínimas requeridas, para solucionar esto se cambió los diámetros de las tuberías T63, T64, T65 Y T68, garantizando así la autolimpieza de la zona. Los resultados más detallados de la simulación del sector 17 en las condiciones futuras la encontraremos en el **Anexo 11**.

3.16. ESCENARIO DE SIMULACIÓN II SECTOR 27: CONDICIONES FUTURAS.

Al igual que en el anterior sector, en este escenario de simulación se proyectó el crecimiento de la población, así como el reacondicionamiento de la red para garantizar presiones mínimas de 5 m.c.a. y, velocidades que se encuentren entre 0,30 y 2 m/s.

3.16.1. CÁLCULO DE LA POBLACIÓN Y CAUDAL DE DISEÑO.

N° de habitantes por familia: 5.

P₀: Población actual, 840 habitantes (168 familias).

i: Índice de crecimiento poblacional, 1 %.

t: Periodo de diseño, 10 años.

3.16.2. POBLACIÓN FUTURA (P_f).

Aritmético

$$P_f = P_o \left(1 + \frac{i \times t}{100} \right)$$

$$P_f = 840 \times \left(1 + \frac{1 \times 10}{100} \right)$$

$$P_f = 924 \text{ Habitantes.}$$

Geométrico

$$P_f = P_o \left(1 + \frac{i}{100} \right)^t$$

$$P_f = 840 \times \left(1 + \frac{1}{100} \right)^{10}$$

$$P_f = 927,88 \text{ Habitantes.}$$

Para fines de cálculo se tomará como población futura para los próximos 10 años, 1.355 habitantes (271 familias) debido a que este es el número total de lotes que son parte del sector.

3.16.3. DOTACIÓN FUTURA.

D_0 : Dotación inicial, 90 L/h – d.

d: Variación de la dotación, 0,5 %.

$$D_f = D_0 \left(1 + \frac{d}{100}\right)^t$$

$$D_f = 90 \times \left(1 + \frac{0,5}{100}\right)^{10}$$

$$D_f = 94,60 \frac{\text{L}}{\text{h d}}$$

La ciudad de Tarija se encuentra en la zona de los valles y en la categoría de “De 501 a 2000” para lo cual le correspondería tal dotación (90 L/h – d) estos valores los obtenemos de la **Tabla 21**.

3.16.4. CAUDAL MEDIO DIARIO (Q_{md}).

$$Q_{md} = \frac{P_f D_f}{86400}$$

$$Q_{md} = \frac{1.355 \text{ Hab} \times 94,60}{86400} = 1,48 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

3.16.5. CAUDAL MÁXIMO DIARIO ($Q_{\max. d}$).

$$Q_{\max. d} = K_1 Q_{md}$$

$$Q_{\max. d} = 1,5 \times 1,48 = 2,23 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

3.16.6. CAUDAL MÁXIMO HORARIO ($Q_{\max. h}$).

$$Q_{\max. h} = K_2 Q_{\max. d}$$

$$Q_{\max. h} = 2,2 \times 2,23 = 4,90 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Para una población de 1.355 habitantes, el coeficiente K_2 lo obtenemos de la **Tabla 22**.

Dentro del sector se encuentra la Unidad Educativa Ángel Calabi, la cual tiene una capacidad para 540 alumnos (270 turno mañana y 270 turno tarde) y 25 profesores, la dotación para escuelas o colegios con alumnado externo es de 50 L/alumno d, esto nos da un caudal de 0,33 L/s, además el sector cuenta con áreas verdes cuya superficie es de 45.195,33 m² (bosquecillo, UE Ángel Calabi, Urb. El Callejón de la Victoria y el restaurante los Molles) y, según el Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias, la dotación de agua para jardines y áreas verdes es de 5 L/ m² d.

$$Q_{a.verdes} = \frac{45.195,33 \text{ m}^2 \times 5 \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \text{ d}}}{86400} = 2,62 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

La red tiene una longitud total de 5.456,55 m y un coeficiente de infiltración en tuberías de 0,00005, dando un caudal de infiltración igual a 0,27 l/s, el centro de salud de San Lorenzo tiene una capacidad para 20 personas y su dotación es de 50 l/ m² d, esto nos da 0,01 l/s, por último, tenemos en caudal para las piscinas del sector el cual es 0,06 l/s. Por tanto, tenemos un caudal de diseño de $4,90 + 0,33 + 2,62 + 0,27 + 0,01 + 0,06 = \mathbf{8,18 \text{ l/s}}$.

Tabla 29.

Dotaciones comerciales.

Dotaciones comerciales, públicas. Valores referenciales	
Tipo de inmueble/ Utilización	Dotación
Centros educativos, escuelas, colegios, universidades y otros similares, alumnado externo	50 L/alumno. d
Cines, teatros y auditorios	3 L/butaca
Personal no residente	50 L/alumno. d
Áreas verdes	5 L/m ² d
Piscina sin recirculación de aguas	25 L/m ² d
Centros de salud, hospitales, clínicas, personal médico, paramédico.	50 L/persona d

Fuente: Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias 2011.

Con este nuevo caudal de diseño, se obtuvo los nuevos caudales en cada nudo de la red con los cuales se procedió a realizar una nueva simulación, los cuales se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 30.
Caudales de consumo sector 27, situación futura.

Tubería	Tramo		N.º Familias Por Tramo			Caudal (l/s)	Nudo	Caudal (l/s)
	Inicio	Fin	Izquierda	Derecha	Total			
T:1	N:2	N:1	7	9	16	0,32	1	0,32
T:2	N:3	N:2	16	25	41	0,82	2	0,82
T:3	N:4	N:9	1	6	7	0,14	3	0,00
T:5	N:C	N:4	2	0	2	0,04	4	0,04
T:6	N:5	N: A	0	4	4	0,08	5	0,02
T:7	N:6	N:5	0	1	1	0,02	6	0,02
T:8	N:7	N:6	0	1	1	0,02	7	0,06
T:9	N:8	N:7	0	3	3	0,06	8	0,00
T:10	N:175	N:11	8	7	15	0,30	9	0,14
T:11	N:11	N:12	8	3	11	0,22	11	0,30
T:12	N:12	N:13	0	0	0	0,00	12	0,22
T:13	N:13	N:15	6	5	11	0,22	13	0,00
T:14	N:13	N:14	2	5	7	0,14	14	0,14
T:15	N:12	N:16	6	3	9	0,18	15	0,22
T:16	N:D	N:17	2	1	3	0,06	16	0,18
T:17	N:17	N:18	0	0	0	0,00	17	0,06
T:18	N:18	N:19	5	4	9	0,18	18	0,00
T:20	N:19	N:22	3	7	10	0,20	19	0,18
T:23	N:16	N:25	6	16	22	0,44	22	0,20
T:25	N: F	N:26	2	9	11	0,22	24	0,10
T:26	N:25	N:24	1	4	5	0,10	25	0,44
T:27	N:25	N:28	9	13	22	0,44	26	0,22
T:28	N:28	N:29	0	0	0	0,00	28	0,44
T:185	N: B	N:3	0	0	0	0,00	29	0,00
T:186	N:BB	N:8	0	0	0	0,00	175	0,08
T:220	N:H	N:209	0	0	0	0,00	209	0,00
T:221	N:209	N:210	0	0	0	0,00	210	0,00
T:222	N:210	N:211	0	0	0	0,00	211	0,00
T:223	N:211	N:212	0	0	0	0,00	212	0,00
T:224	N:212	N:213	0	0	0	0,00	213	0,00
T:225	N:213	N:217	0	0	0	0,00	214	2,00
T:226	N:217	N:216	0	0	0	0,00	215	0,00
T:227	N:216	N:215	0	0	0	0,00	216	0,54
T:228	N:215	N:214	0	0	0	0,00	217	0,00

T:229	N:217	N:218	3	2	5	0,10	218	0,10
T:230	N:218	N:220	1	7	8	0,16	219	0,18
T:231	N:220	N:219	4	5	9	0,18	220	0,16
T:232	N: I	N:221	0	4	4	0,08	221	0,08
T:233	N:221	N:222	5	8	13	0,26	222	0,26
T:234	N:221	N:223	1	4	5	0,10	223	0,10
T:235	N:223	N:224	1	1	2	0,04	224	0,12
T:236	N:224	N:225	0	8	8	0,16	225	0,39
T:237	N:223	N:226	0	2	2	0,04	226	0,04
T:238	N:226	N:227	0	1	1	0,02	227	0,02
T:239	N:227	N:224	0	4	4	0,08	A	0,08

fuelle: Elaboración propia.

3.17. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE LA RED EN LAS CONDICIONES FUTURAS SECTOR 27

El sector 27 tiene como fuente de abastecimiento el pozo Tomatas C, el cual está conectado de manera directa a la red, para esto emplea una bomba de 10 HP, reacondicionadas las tuberías para garantizar las presiones y velocidades mínimas requeridas se realizó la simulación del sector en condiciones futuras, dicha bomba no es capaz de abastecer de manera eficiente al sector, para lo cual se optó por cambiar a una bomba de 15 HP.

Tabla 31.

Datos de rendimiento de la bomba de 15 HP.

Caudal (l/s)	Altura (m)
1,67	133
2,5	130
3,33	127
4,17	122
5	117
5,83	112
6,67	105
7,5	98
8,33	90
9,17	81
10	72
10,83	61

Fuente: Catalogo Industrial Sumergible FRANKLIN.

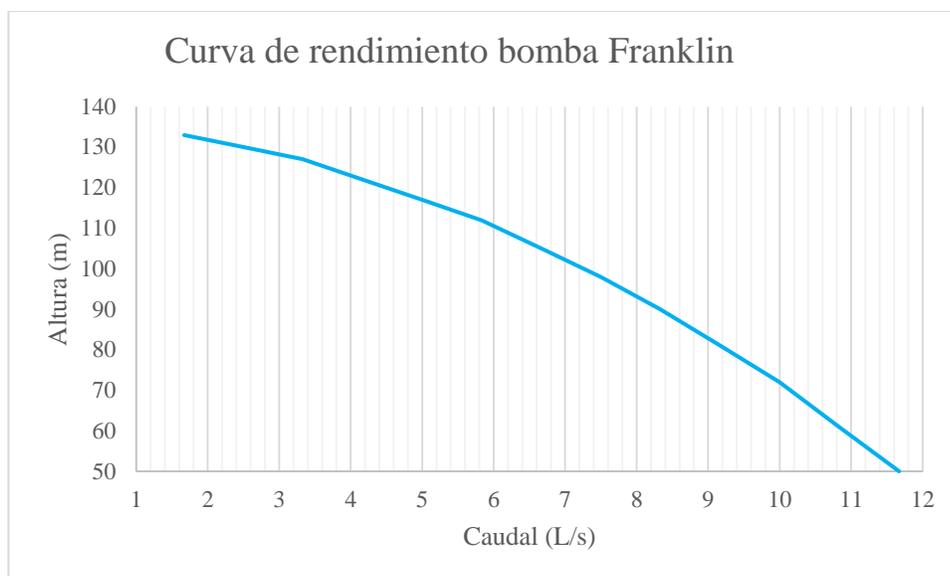


Figura 35. Curva de comportamiento bomba Franklin 15 HP.
Fuente: Catalogo Industrial Sumergible FRANKLIN, p. 6, copyright por Motor Mob.

$$P = \frac{\gamma Q H}{76 \eta}$$

Donde:

P: Potencia de la Bomba, en HP.

Q: Caudal, en m³/s.

H: Altura de la Bomba, en m.

η : Eficiencia de la bomba, en %.

γ : Peso específico del agua, en kg_f/m³.

$$P = \frac{999,99 \times 0,00818 \times 96,14}{76 \times 0,75} = 13,80 \text{ HP} \approx 15 \text{ HP.}$$

Con esta bomba se garantiza presiones superiores a los 5 m.c.a. en el final de la red, en la zona llamada Urbanización El Callejón de la Victoria que era la más crítica en la simulación anterior (condiciones actuales), la información más detallada de las tuberías reacondicionadas la encontraremos en el **Anexo 12** y, los resultados de la simulación en el **Anexo 13**.

Tabla 32.*Peso específico del agua a la presión atmosférica.*

Temperatura (°C)	Peso específico (N/m ³)	Peso específico (Kg/m ³)
0	9.806	999,87
5	9.807	999,99
10	9.804	999,73
15	9.798	999,12
20	9.789	998,23
25	9.778	997,07
30	9.764	995,68
40	9.730	992,25
50	9.690	988,07
60	9.642	983,21
80	9.530	971,79
100	9.399	958,44

Fuente: Mecánica de los Fluidos e Hidráulica, Giles, R; Evett, J. y Liu C.
e Hidráulica de Tuberías, Saldarriaga J.

Se debe tomar en cuenta que la altura total de bombeo para “Bombeo con bombas sumergibles” es:

$$H_b = h_i + \Delta h_i$$

Donde:

H_b : Altura total de bombeo, en m.

h_i : Altura geométrica de impulsión, en m.

Δh_i : Altura de pérdida de carga en la tubería de impulsión, en m.

$$H_b = 63 + (31,21 + 1,93) = 96,14 \text{ m.}$$

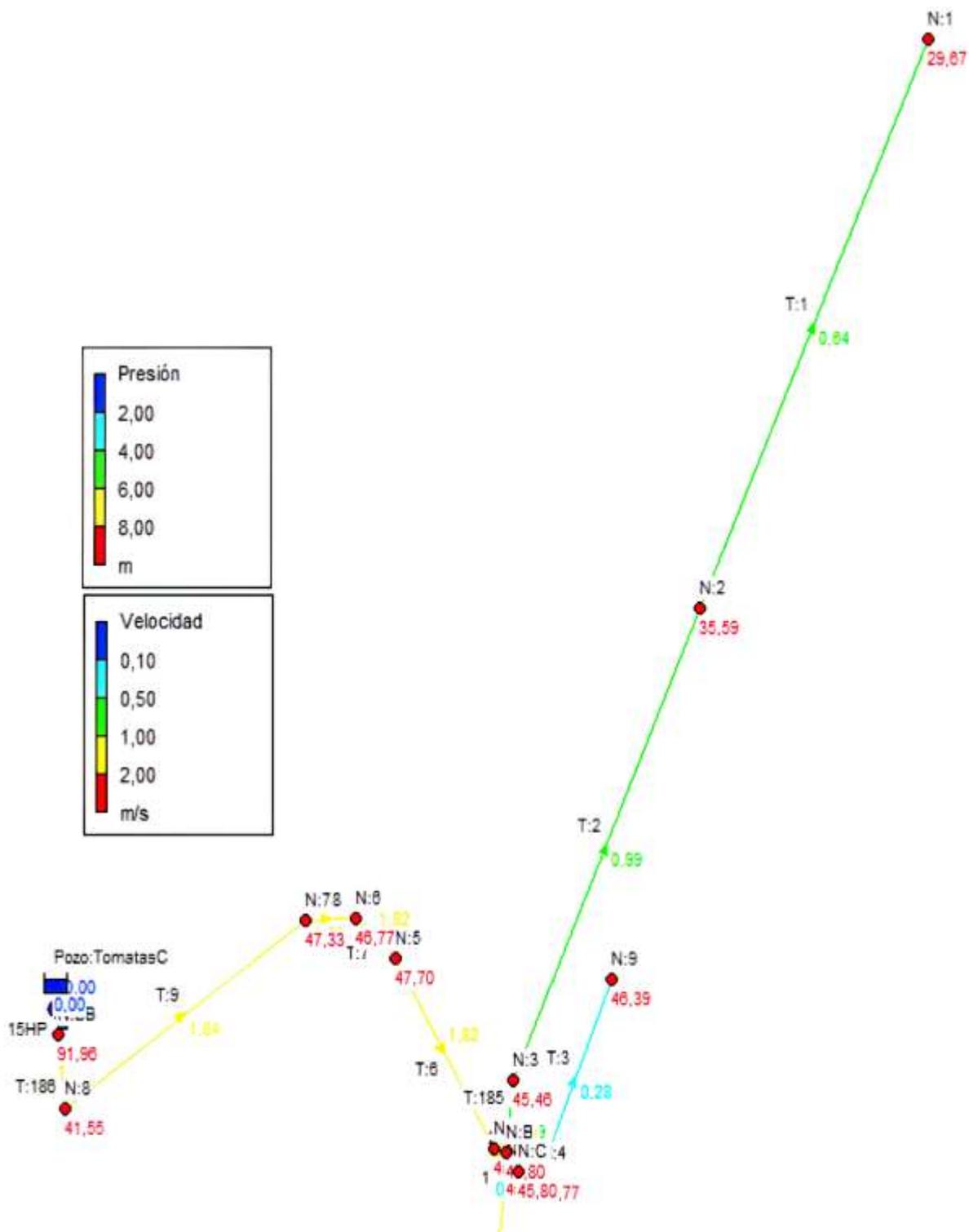


Figura 36. Resultados de la simulación, presiones y velocidades situación futura (parte 1).
Fuente: Elaboración propia.

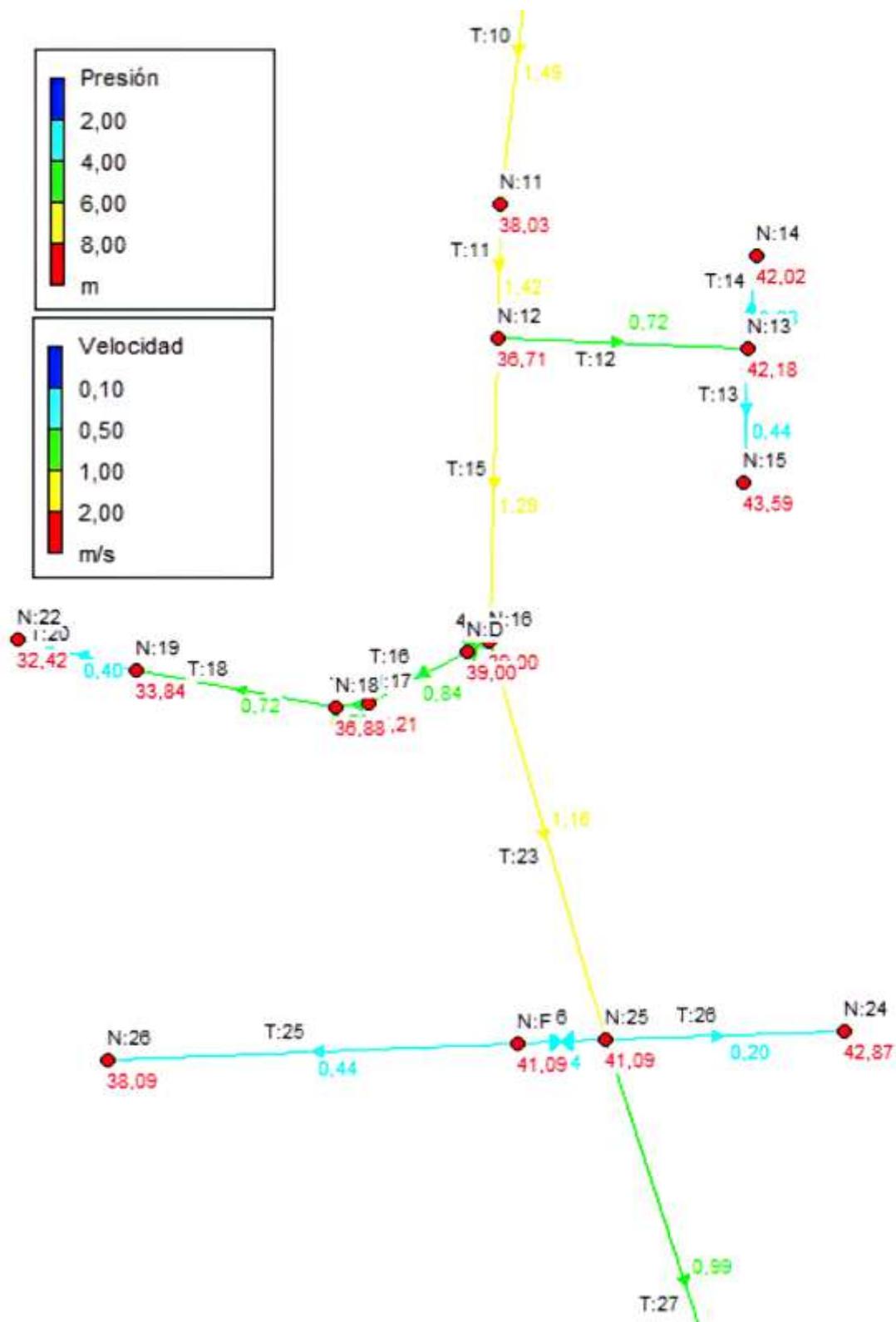


Figura 37. Resultados de la simulación, presiones y velocidades situación futura (parte 2).
Fuente: Elaboración propia.

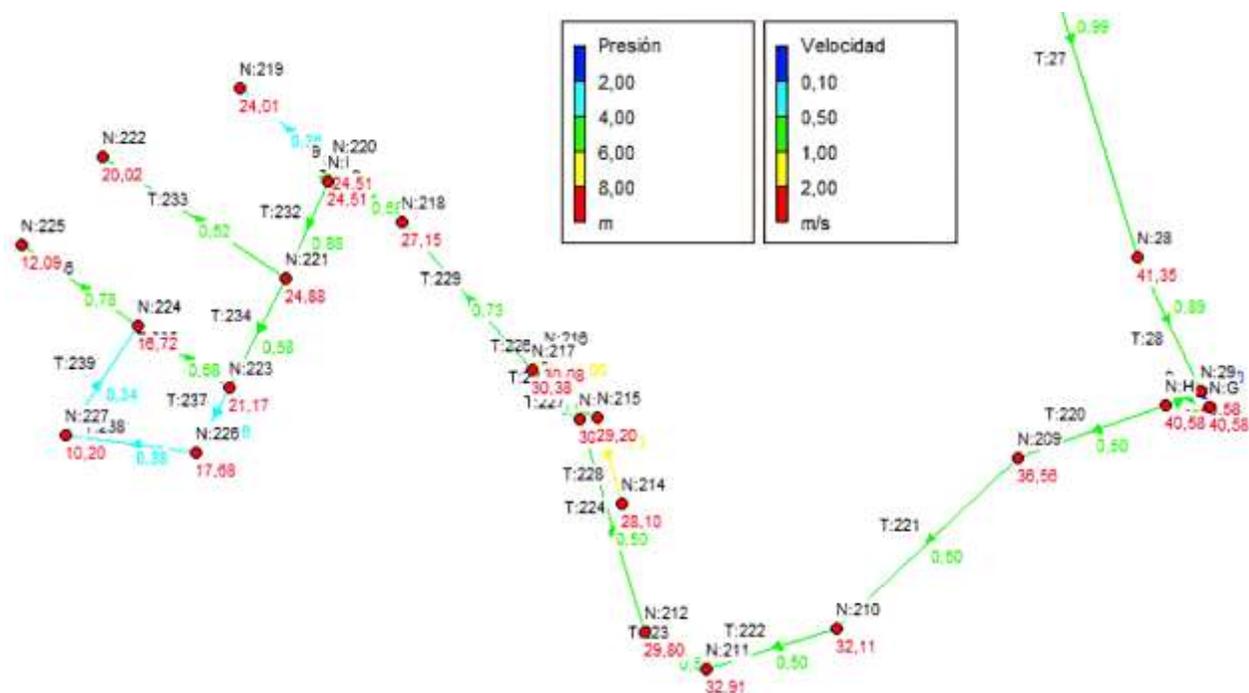


Figura 38. Resultados de la simulación, presiones y velocidades situación futura (parte 3).

Fuente: Elaboración propia.

3.18. COMPORTAMIENTO DE LA RED ANTE DIFERENTES ESTADOS DE CARGA.

Hasta ahora sólo se ha considerado un estado de carga determinado. Vamos a suponer ahora que, manteniendo la distribución relativa de consumos en la red, se modifica el caudal total demandado, lo cual permitirá simular distintos estados de carga.

Supongamos que nos encontramos en una hora del día en la que la demanda de la población ha disminuido un 20%, es decir, se ha reducido a un 80% del consumo, y nos interesa conocer cómo es la nueva distribución de presiones y caudales. EPANET permite modificar el factor de demanda de todos o parte de los consumos. Para multiplicar los consumos de todos los nudos por un determinado factor (0,80 en este caso), deberemos introducir en la sección (Opciones Hidráulicas) del fichero de datos: Factor de Demanda: 0,80. Tan solo con modificar el factor multiplicativo de la sección (Opciones Hidráulicas) podemos simular diferentes estados de

carga. Los resultados que proporciona EPANET cuando el consumo total de la red es un 80% del consumo medio quedan reflejados en las figuras 40 y 41.

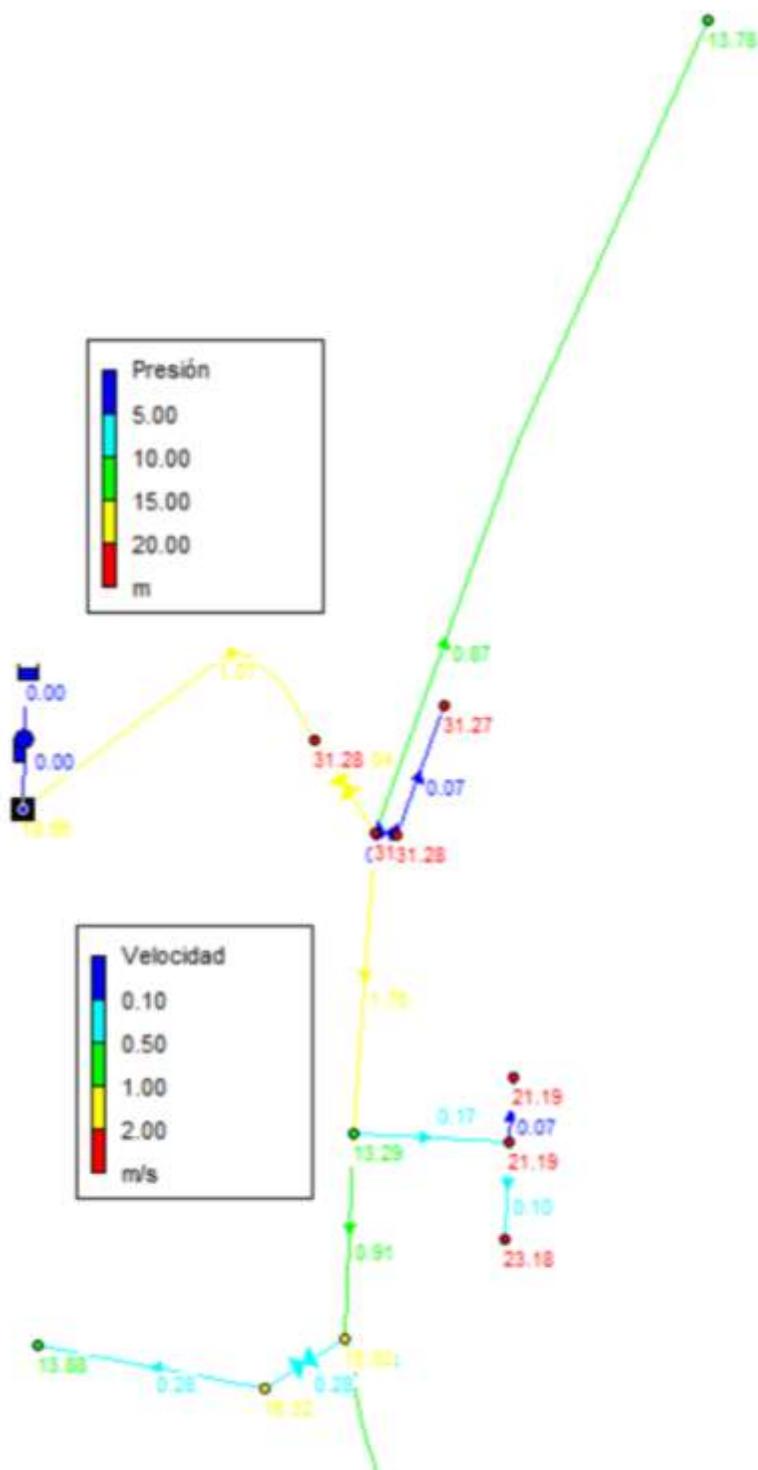


Figura 39. Presiones (m.c.a.) y velocidades (m/s).
Fuente: Elaboración propia.

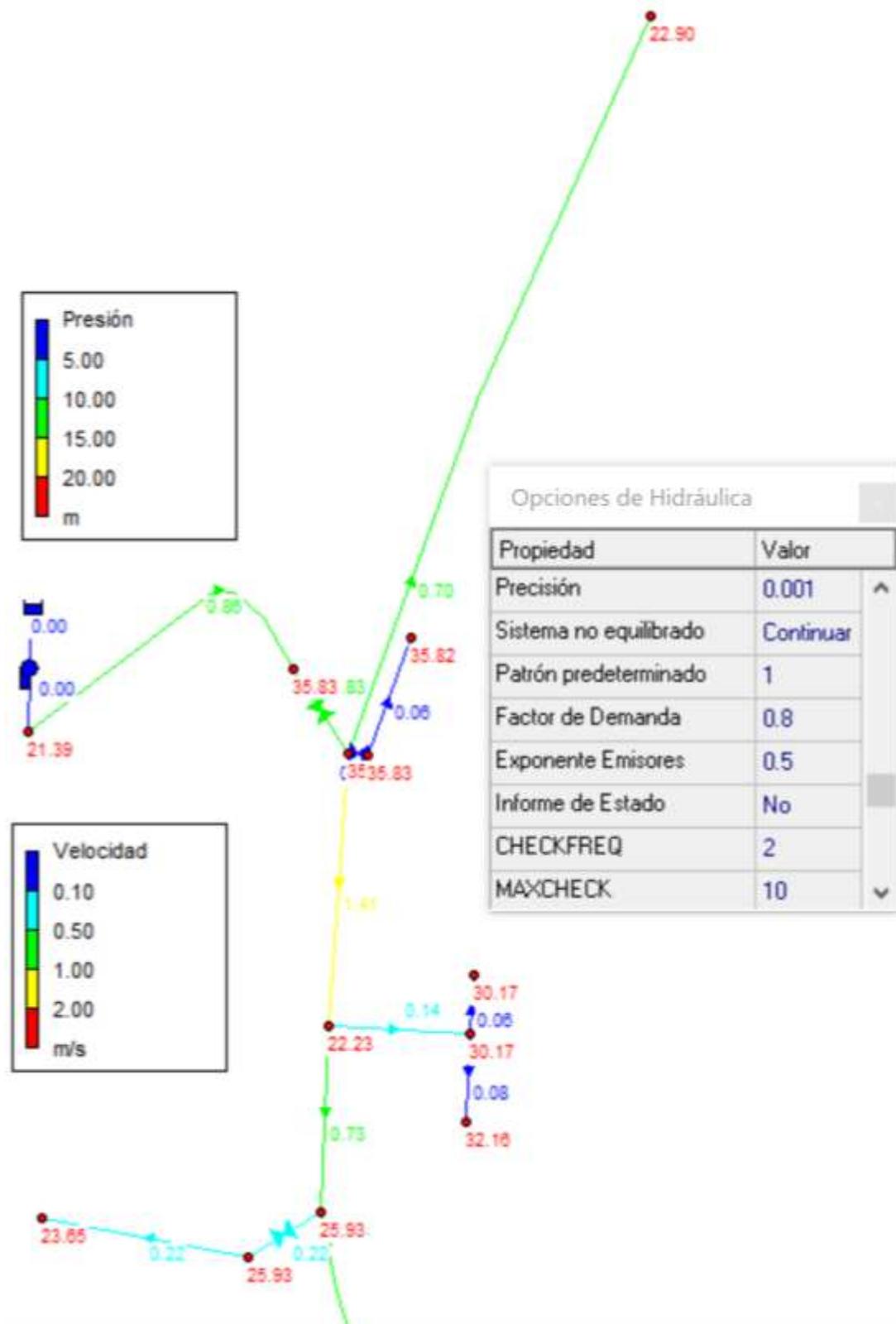


Figura 40. Presiones (m.c.a.) y velocidades (m/s) al 80 % de consumo.
Fuente: elaboración propia.

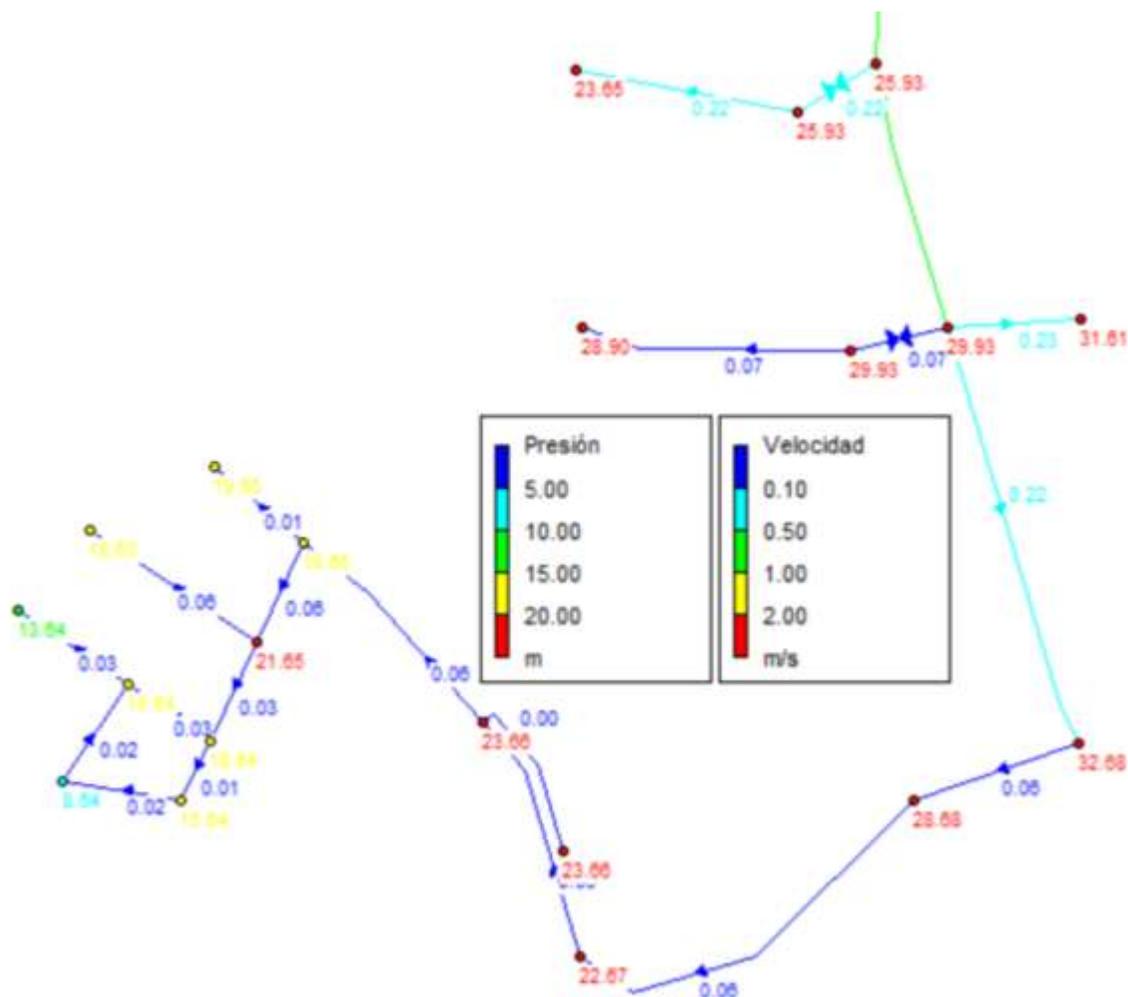


Figura 41. Presiones (m.c.a.) y velocidades (m/s) al 80 % de consumo (continuación de la red).

Fuente: Elaboración propia.

Si nos fijamos en los resultados de EPANET, comprobamos que, como es lógico, debido a la disminución de la demanda, las presiones en toda la red han aumentado y las velocidades en las tuberías han disminuido (en algunas incluso por debajo de 0,30 m/s).

Ahora veremos qué es lo que sucede si pasaría lo contrario, es decir, que la población aumentara y con esto también la demanda en un 20%.

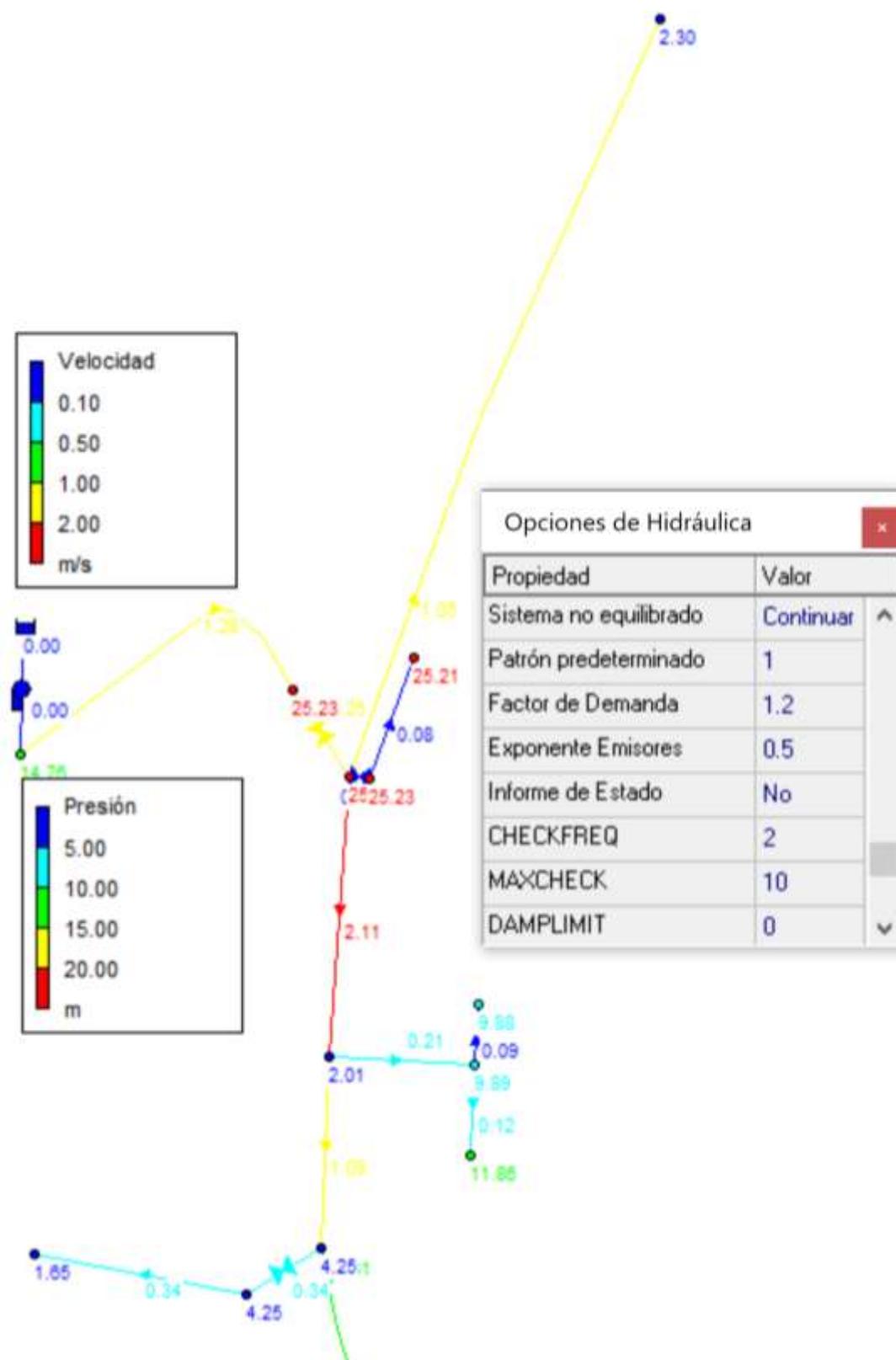


Figura 42. Presiones (m.c.a.) y velocidades (m/s), 120% del consumo.
Fuente: Elaboración propia.

3.19. RESPUESTA DE LA RED ANTE LA ROTURA DE UNA TUBERÍA.

En este escenario de simulación se estudiará la respuesta de la red ante la rotura de alguna tubería, con la finalidad de ver cómo se modifica la distribución de caudales, presiones y estudiar posibles mejoras.

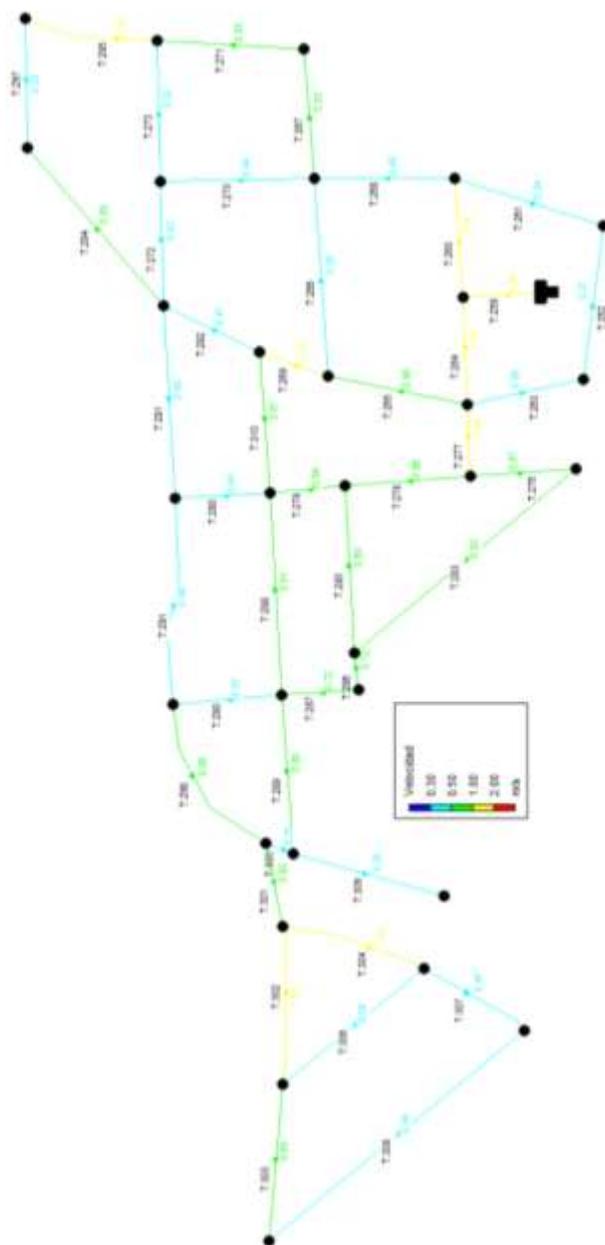


Figura 44. Velocidades (m/s) en la red antes de la rotura.

Fuente: Elaboración propia.

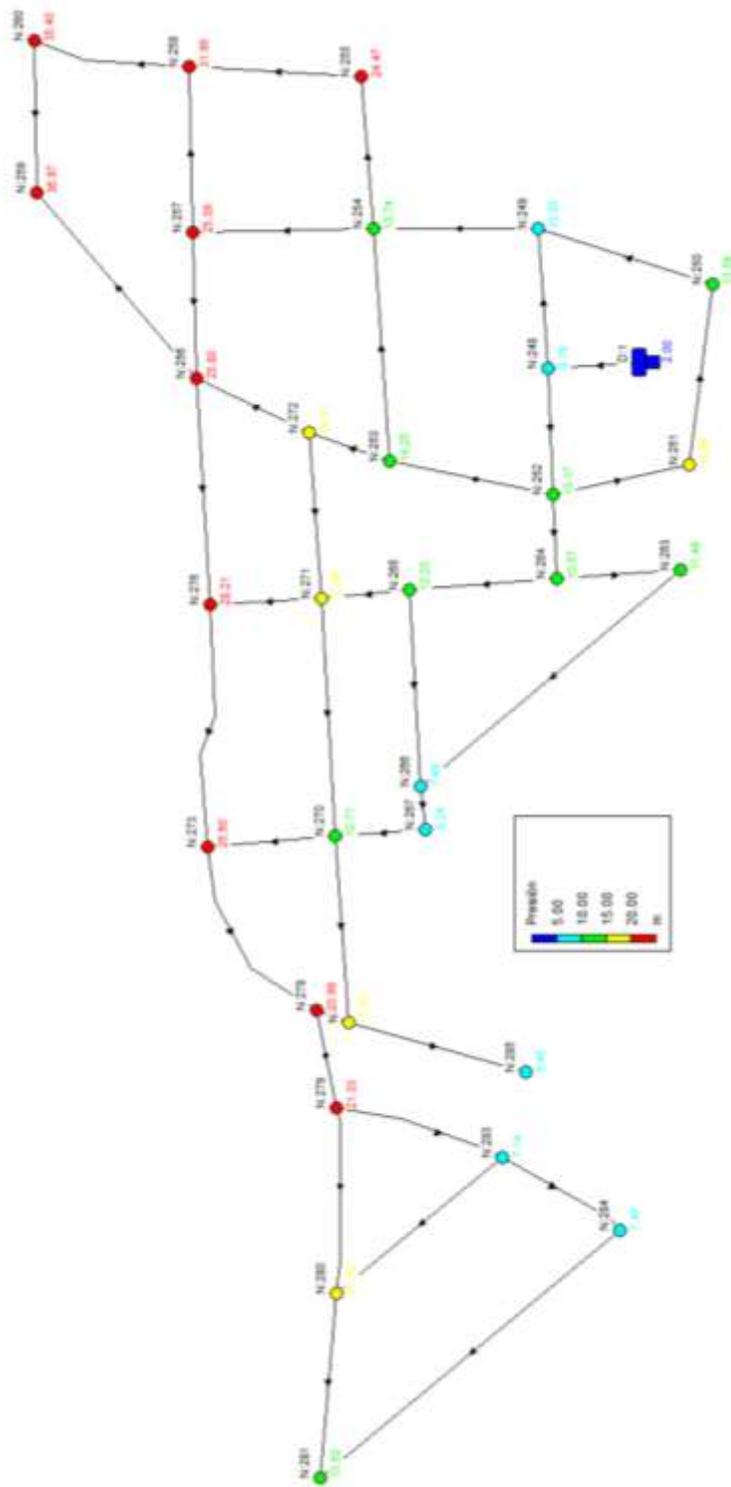


Figura 45. Presión (m.c.a) en la red antes de la rotura de la tubería.
Fuente: Elaboración propia.

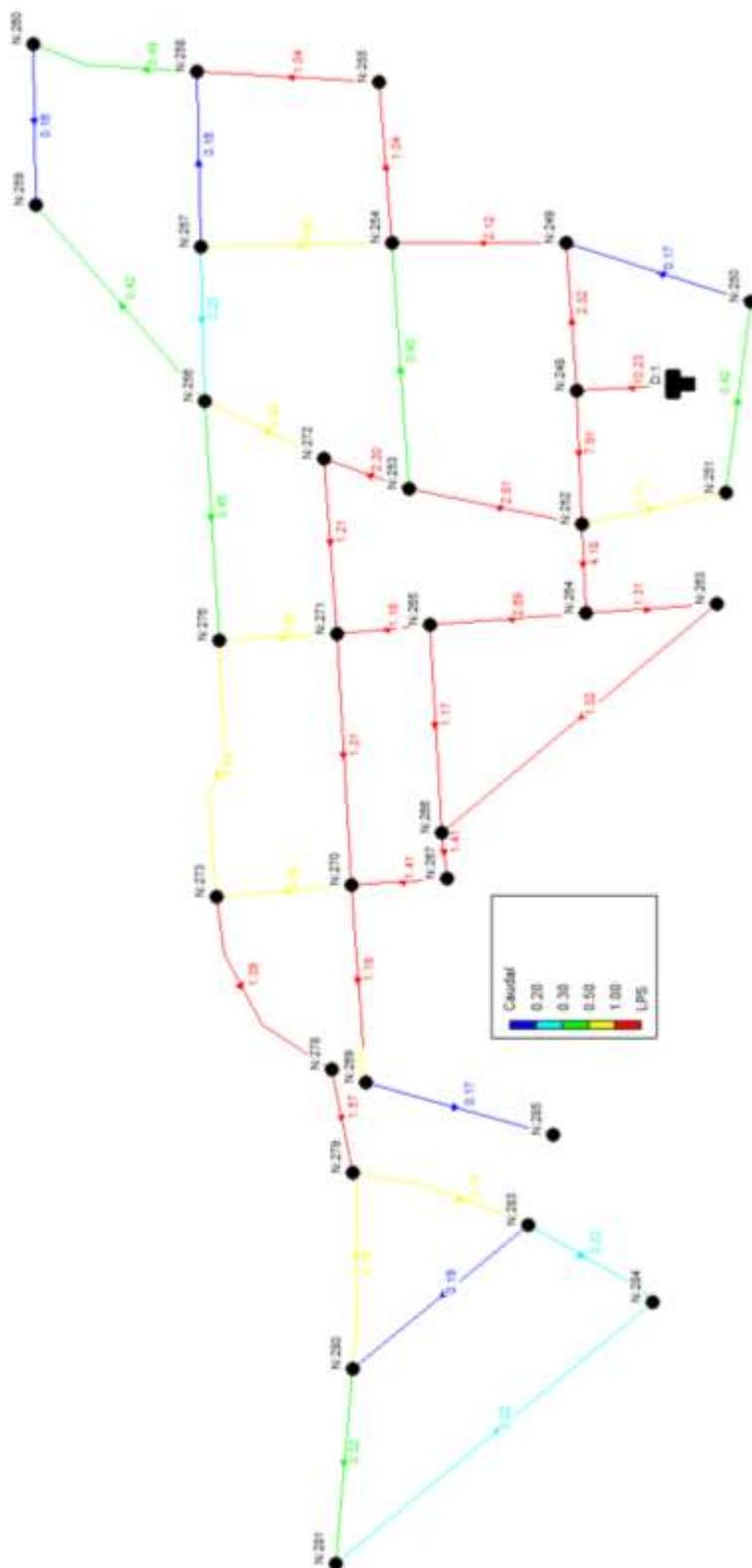


Figura 46. Distribución de caudales (m/s) antes de la rotura de la tubería.
Fuente: Elaboración propia.

Supongamos que se produce una rotura en la tubería 278 de forma que queda fuera de servicio, para simular esta situación, podemos borrar la línea correspondiente a la tubería 278 o simplemente colocar en las propiedades de la tubería “Estado Inicial cerrado” con lo que EPANET no leerá la información que contiene esa línea.

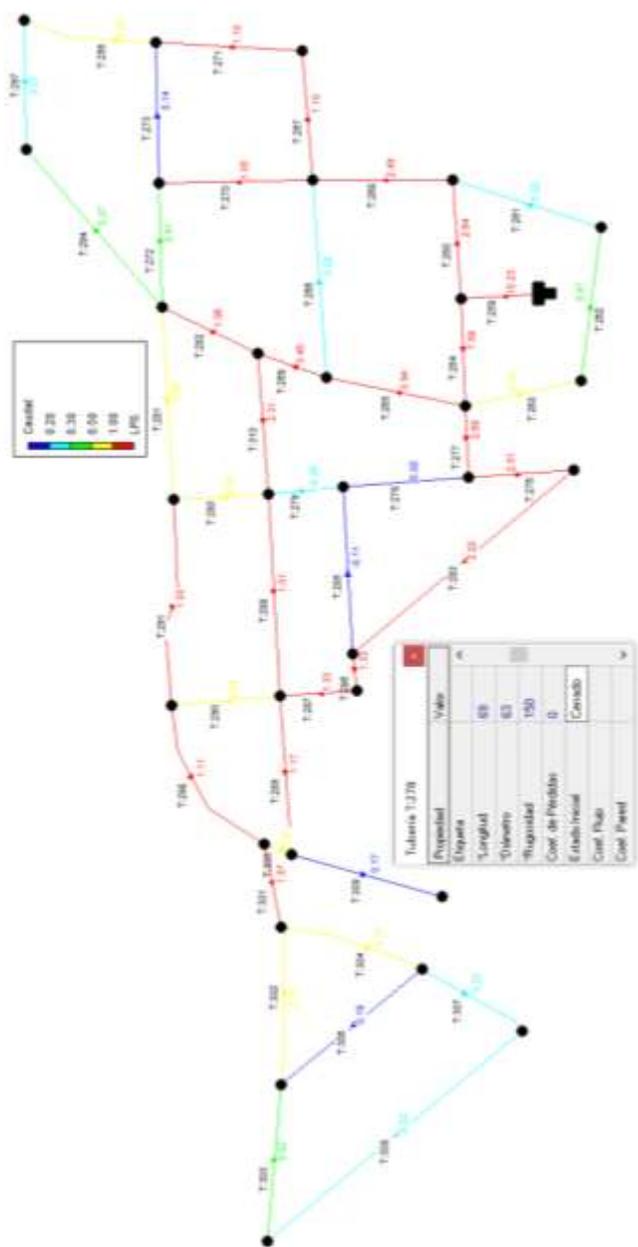


Figura 47. Distribución de caudales (m/s) después de la rotura de la tubería.

Fuente: Elaboración propia.

Se modifica la distribución de caudales en casi toda la red a excepción de la parte final del sistema conformado por las tuberías 302, 303, 304, 306, 307 y 308.

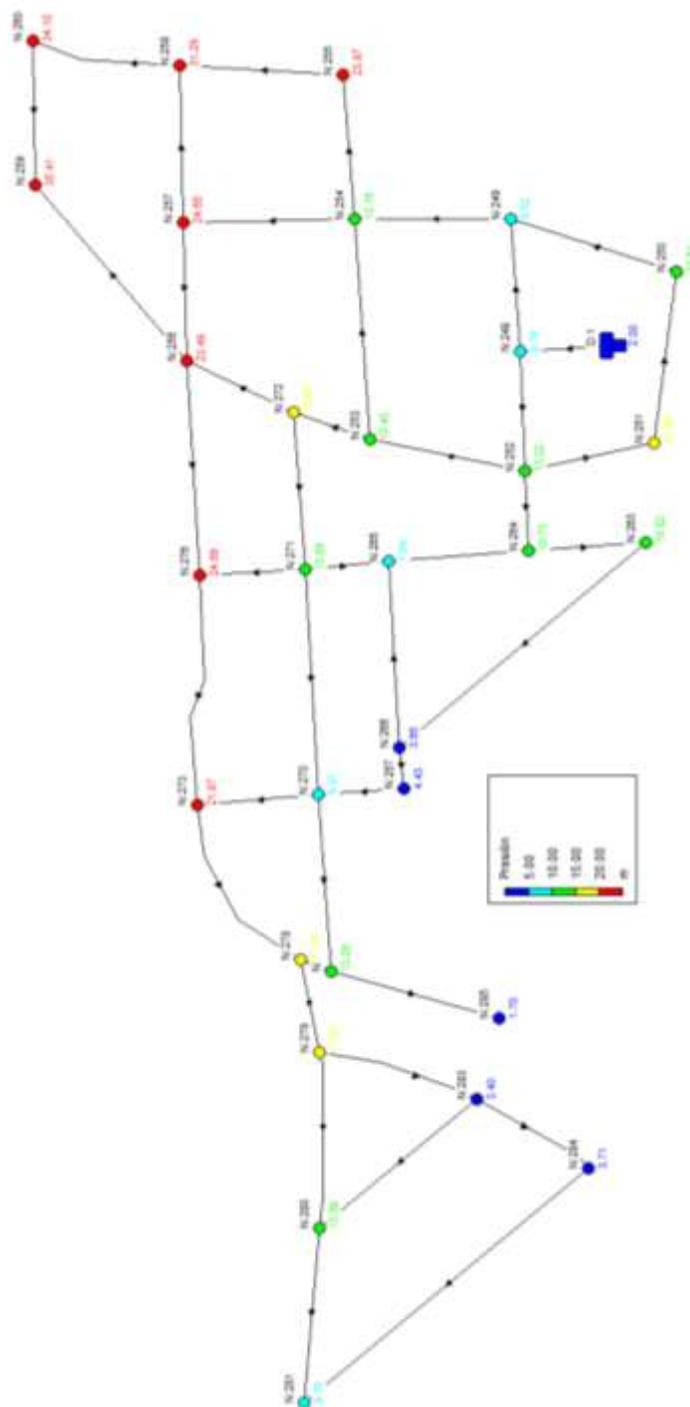


Figura 48. *Presión (m.c.a) en la red después de la rotura de la tubería.*

Fuente: Elaboración propia.

Y las presiones disminuyen notablemente en la mayoría de los nudos, llegando incluso a los 1,70 m.c.a. en el nudo 285.

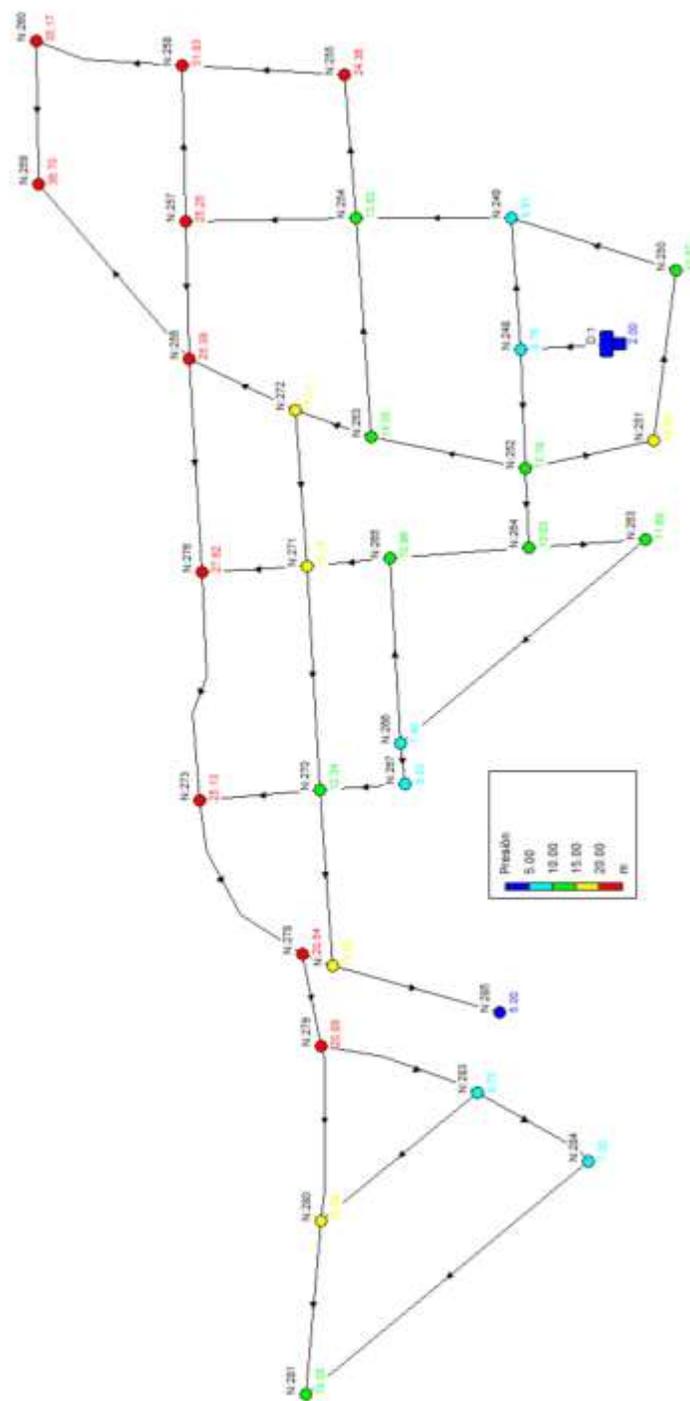


Figura 49. Presión (m.c.a) en la red aumentando los diámetros en las tuberías 276 y 283.

Fuente: elaboración propia.

Una posible solución a este problema sería aumentar los diámetros de algunas tuberías. Por ejemplo, veamos lo que sucede si aumentamos los diámetros de las tuberías 276 y 283 de 50 mm a 75 mm. La distribución de presiones mejora considerablemente, en el nudo 285 subió hasta 5 m.c.a. De esta manera confirmamos que, en un sistema de distribución cerrado, el agua puede alcanzar cualquier punto de la red como mínimo por dos caminos diferentes, consiguiéndose una garantía en el servicio, la rotura de una tubería sólo afecta, mediante el cierre de válvulas oportunas, a un tramo de la red, además se obtiene un reparto de presiones más uniforme.

Se consideraron estos dos escenarios de simulación, en el primero “Comportamiento de la red ante diferentes estados de carga” debido a que no se cuenta con una curva de modulación que nos permita realizar una simulación en un periodo extendido, es decir que las demandas en los nudos varíen de forma periódica a lo largo del día y convertir nuestro modelo en un caso más realista, y así conocer el funcionamiento de la red bajo diferentes estados de carga.

En el segundo caso “respuesta de la red ante la rotura de una tubería”, es un escenario que se puede presentar en la realidad y, como ya lo vimos, en caso de que hubiera la rotura de una tubería, las presiones en la red se verían afectadas, es decir, estas disminuirían bastante, al simular este escenario podemos encontrar la solución a estos futuros problemas de tal manera que cuando se presenten no afecten de gran manera el funcionamiento de la red.

3.20. SIMULACIÓN EN PERIODO EXTENDIDO.

Hasta ahora, todas las simulaciones se han realizado mediante el análisis hidráulico en régimen permanente, es decir, para un instante determinado, pero EPANET permite también realizar una modelación más cercana a la realidad mediante el análisis en período extendido, pudiendo asociar a cada consumo un factor multiplicativo que aumente o disminuya la demanda en cada instante de tiempo.

En el presente trabajo no se va profundizar en este tipo de análisis debido a que no es el objetivo del mismo, el propósito de este apartado es solo de introducir otra de las posibilidades que aporta EPANET para el diseño y estudio de redes de agua potable.

Para llevar a cabo una simulación en período extendido es necesario crear una curva de modulación, para la obtención de los coeficientes que componen la curva de modulación fue necesario dividir el caudal registrado para cada hora en la curva de consumo entre el valor medio registrado en esta misma.

Es decir, si se observa la tabla 27 el valor de caudal para la hora 9:25 es de 21,78 l/s, y el valor medio registrado es de 21,22 l/s, ahora bien, al dividir el primero entre el segundo se obtiene un valor de 1,026 el cuál es uno de los coeficientes para la curva de modulación.

Al realizar esta misma operación para los caudales registrados, se obtienen la siguiente curva de modulación:

Tabla 33. *Datos Curva de Modulación.*

Hora (h)	Caudal (l/s)	Coeficiente
	21,71	1,023
09:25	21,78	1,026
09:35	21,7	1,022
09:45	21,71	1,023
09:55	21,7	1,022
10:05	21,75	1,025

10:15	21,45	1,011
10:25	21,17	0,997
10:35	21,1	0,994
10:45	21,01	0,990
10:55	21,02	0,990
11:05	20,46	0,964
11:15	20,48	0,965
11:25	21,03	0,991
11:35	21,06	0,992
11:45	21,02	0,990
11:55	21,05	0,992
12:05	21,04	0,991
12:15	21,02	0,990
Promedio	21,22	

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, será necesario modificar la configuración inicial de la red de Obrajes que será empleada para realizar la simulación, en particular determinados elementos, como el depósito, el cual será tratado desde ahora como un embalse, es decir, como un punto de suministro de caudal ilimitado y nivel constante.

La demanda de los nudos deja de ser un valor constante, siendo multiplicada por el coeficiente modulador de la demanda según la curva de modulación. De este modo el consumo adoptará valores distintos según la hora del día.

En este caso, se adoptará una duración de 3 horas con un intervalo de 10 minutos, la respuesta de la red en periodo extendido es la siguiente:

Entre las 9:35 am y las 10:35 am existe el mayor consumo en la red, presiones altas en los puntos más bajos de la zona de Obrajes con valores de 48,11 m.c.a y las velocidades son mayores al mínimo establecido en la norma (0,30 m/s), en el punto más alto de la red se tiene una presión de 6,43 m.c.a, la cual se encuentra por encima de lo mínimo establecido (5 m.c.a).

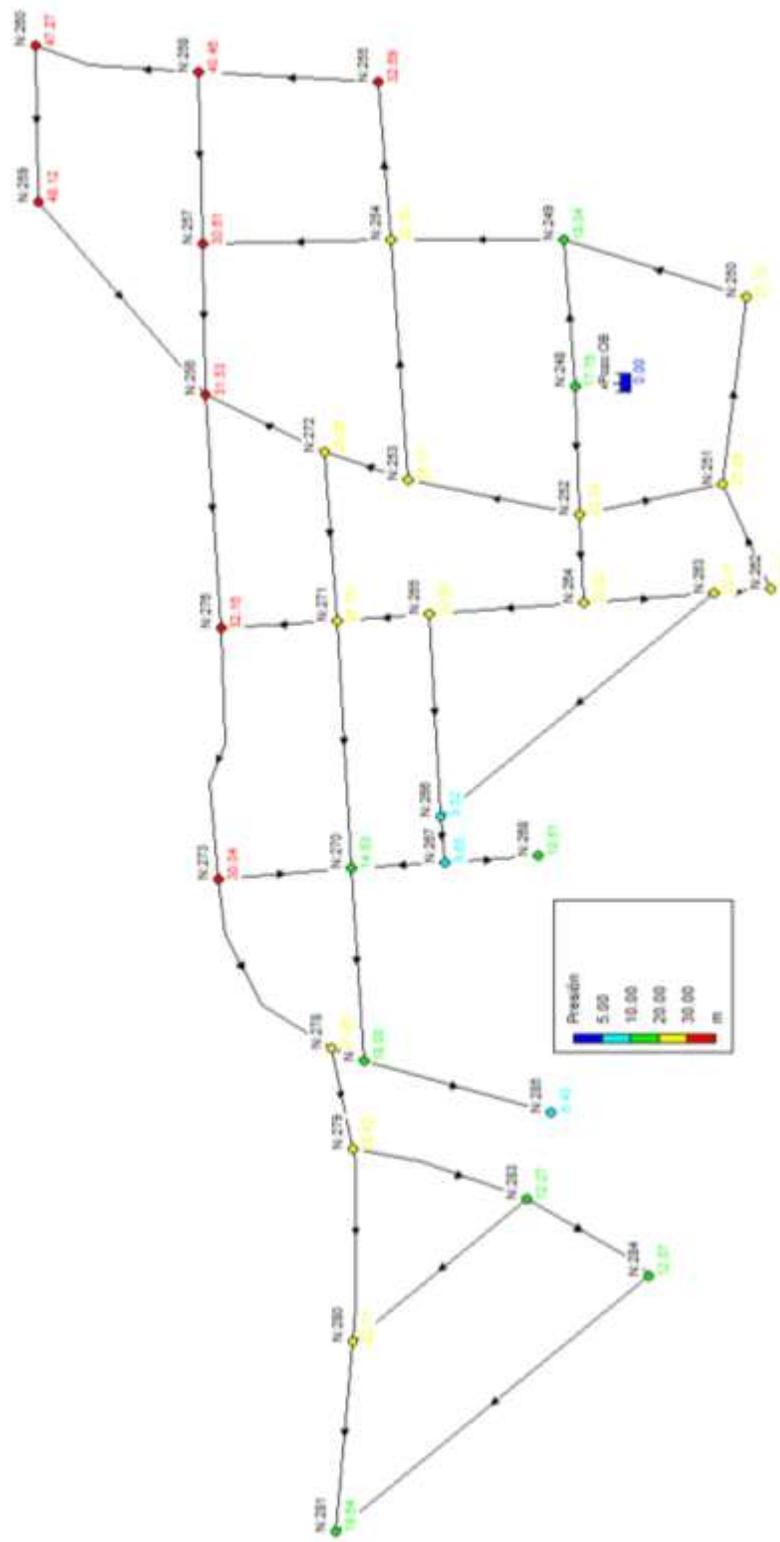


Figura 50. Simulación entre las 9:35 am y 10:35 am (presiones).
 Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Presiones en el Nudo 285 bajo diferentes estados de carga.

Hora (h)	Nudo	Presión (m.c.a)
09:15	285	6,43
09:25	285	6,45
09:35	285	5,61
09:45	285	5,53
09:55	285	5,63
10:05	285	5,61
10:15	285	5,63
10:25	285	5,55
10:35	285	5,92
10:45	285	6,28
10:55	285	6,35
11:05	285	6,45
11:15	285	6,45
11:25	285	7,11
11:35	285	7,08
11:45	285	6,43
11:55	285	6,40
12:05	285	6,45
12:15	285	6,40

Fuente: Elaboración propia.

A las 9:45 am se produce la mayor demanda en la red, y se observa que la misma continúa funcionando satisfactoriamente, con respecto a las presiones tenemos 5,53 m.c.a en el punto más alto y la velocidad aun encontrándose superior a los 0,30 m/s en la mayoría de la red, en las tuberías T:274, T:276, T:277 y T:308 las velocidades son inferiores a los 0,30 m/s pero a su vez muy cercanas a este valor, siendo 0,25, 0,27, 0,28 y 0,27 respectivamente.

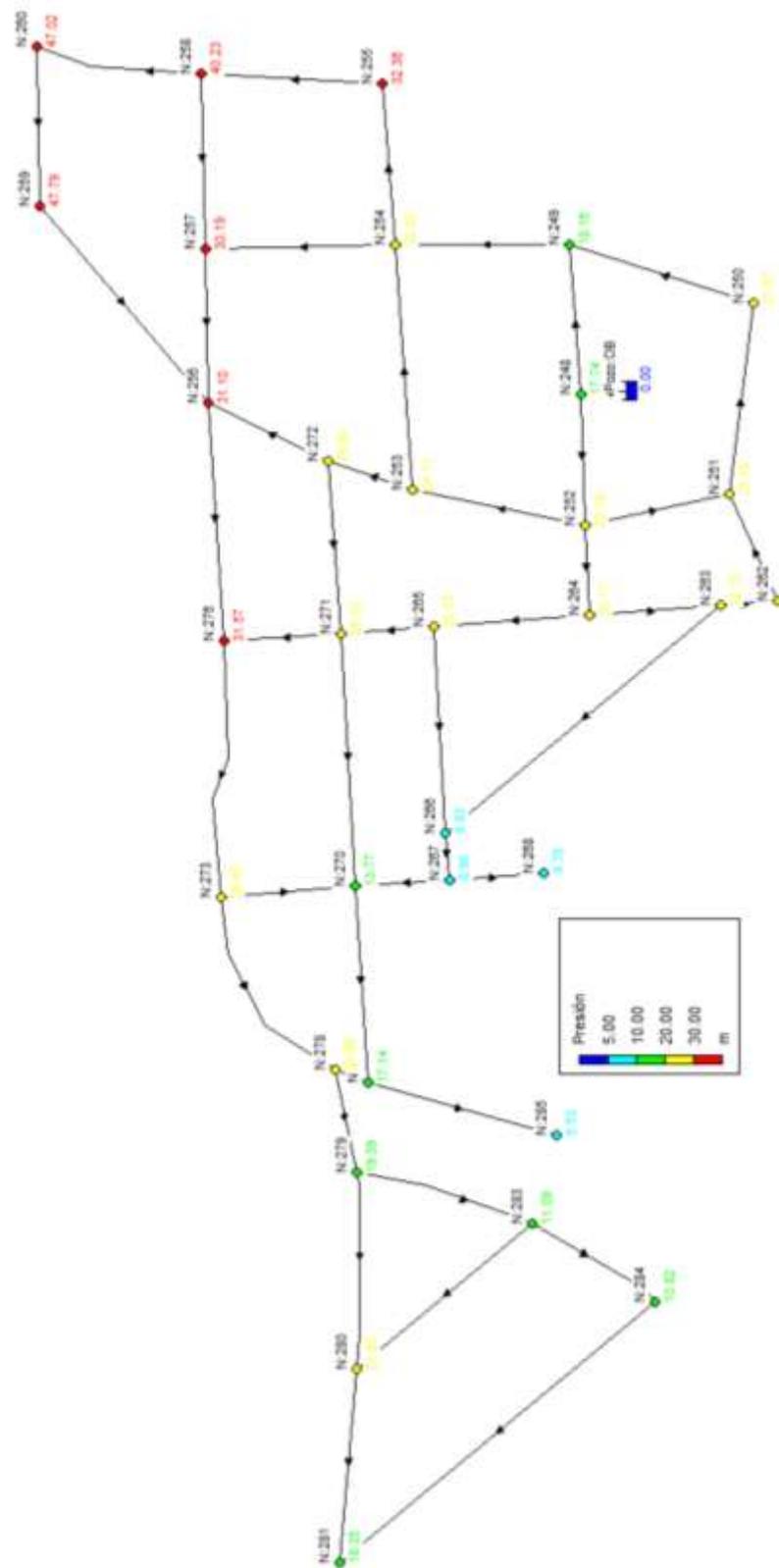


Figura 52. Simulación a las 9:45 am hora de mayor consumo (presiones).
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1.CONCLUSIONES.

- Realizada la simulación del sistema de agua potable del sector Tomatitas de la ciudad de Tarija, se pudo verificar que los parámetros de presión y velocidad se encuentran fuera de los rangos establecidos en la Norma Técnica de Diseño para Sistemas de Agua Potable NB 689, dando así como válida la hipótesis propuesta.
- El aforo de los caudales que produce cada fuente que abastece al sistema fue realizado por el personal del Centro de Investigación del Agua (CIAGUA), para ello utilizaron el caudalímetro por ultrasonido PCE TDS 100 HS, siendo los caudales medios obtenidos, para la galería filtrante del río Erquiz 10,8 l/s, el pozo los Álamos produce un caudal de 4,5 l/s, el pozo ubicado en el bosquecillo de Tomatitas 21,2 l/s y el pozo Tomatas C con un caudal de 4,6 l/s, en total el sector necesita un caudal de 41,1 l/s.
- Simulada la red de distribución de agua potable y tras evaluar los parámetros de presión y velocidad en las condiciones actuales, se pudo evidenciar que ambas se encuentran fuera de lo mínimos establecido en la NB 689, en la zona 17, el 70 % de las tuberías cuentan con velocidades inferiores a los 0,30 m/s, en cuanto a la presión, solo 2 nudos se encuentran por debajo de los 10 m.c.a. mientras la zona 27, el 73 % de las tuberías tienen velocidades inferiores a los 0,30 m/s y las presiones son muy bajas en el tramo final de la red.
- Se proyectó el crecimiento de la población del sector Tomatitas para los próximos 10 años, se obtuvo los nuevos parámetros de diseño (caudales y población), para la zona 17 se tiene una población de 5135 habitantes (1.027 familias) y un caudal de 22 l/s, mientras que para la zona 27 se tiene una población de 1.355 habitantes (271 familias)

con un caudal de 8,18 l/s y bajo estas nuevas condiciones se realizó una nueva simulación, dando como resultado que aun cuando todo el sector se haya poblado completamente el 60 % de las tuberías presentan velocidades inferiores a los 0,30 m/s, esto para la zona 17, mientras que para la zona 27, al tener la bomba (10 HP) conectada de manera directa a la red y sin almacenamiento, con el aumento de la población y el caudal, la bomba no será capaz de suministrar un servicio eficiente a toda la red, donde el tramo final es el más afectado, siendo necesario el cambio de la bomba por una de mayor potencia (15 HP). De igual manera para garantizar que las velocidades se encuentren dentro de lo mínimo establecido en la NB 689, se realizó una nueva simulación donde se cambió el diámetro en aquellas tuberías con velocidades muy bajas, para la zona 17 se debió cambiar el 54 % de los diámetros y para la zona 27, el 64 %, de tal manera que se garantice la autolimpieza de la red.

- Se realizó la simulación de dos nuevos escenarios, el primero fue el comportamiento de la red bajo diferentes estados de carga, con la disminución de la demanda, las presiones en toda la red han aumentado y las velocidades en las tuberías han disminuido (en algunas incluso por debajo de 0,30 m/s) y lo contrario ocurre cuando crecen las demandas, las presiones disminuyen y las velocidades aumentan. Para el segundo escenario se simuló la rotura de una tubería, donde se pudo observar la disminución de las presiones en determinados puntos de la red, se ha solucionado este problema aumentando los diámetros de al menos una de las tuberías por donde se ve redistribuido el caudal, esto con el fin de que las presiones no disminuyan y afecten el funcionamiento de la red.

4.2.RECOMENDACIONES.

- Realizar la calibración del Sistema de Agua Potable Sector Tomatitas, para tener una herramienta que facilite un control y gestión de la red de distribución, si bien se realizaron varias simulaciones en diferentes escenarios, estas son para un instante determinado y mediante la calibración los escenarios de simulación son más realistas donde las demandas varían de forma periódica a lo largo del día. Cabe destacar que en este proyecto no se realizó la calibración del sistema debido a la falta de información y a no tener acceso a las herramientas para generar la misma.
- En cuanto a la información que ofrece el catastro de la red de agua potable, este deberá ser corregido y complementado, donde se obtenga información de primera acerca de los diámetros de las tuberías, el material del cual están hechas, que longitudes tienen y los accesorios que existan en la misma, también se deberán colocar medidores de agua en las salidas de los tanques de almacenamiento y en cada fuente de agua, si bien el Sector Tomatitas cuenta con 3 pozos y la Galería Filtrante del Río Erquis, solo se encuentra en funcionamiento el macro medidor que está instalado en el pozo Tomatas C, el pozo los Álamos también cuenta con este dispositivo, pero no se encuentra en funcionamiento, además de realizar un control periódico de los macro medidores instalados, para conocer el buen funcionamiento o no y el cambio de los mismos si así fuera el caso.
- Para la ampliación de redes de agua potable, se deberá realizar un estudio previo del cual se plantee la mejor alternativa, para mantener un buen funcionamiento y prestar un óptimo servicio tanto en la actualidad como en el futuro.

- Se deberá realizar el cambio en el diámetro de las tuberías ya que no se cumple con lo establecido en la Norma Boliviana NB 689, debido a que se presenta velocidades inferiores a los 0,30 m/s en varios tramos de la red, evitando la autolimpieza del sistema.
- El sector 17 cuenta con 2 tanques apoyados los cuales son de H°A°, pero solo uno de ellos se encuentra en operación, se recomienda realizar un mantenimiento periódico ya que el único tanque en funcionamiento presenta el crecimiento de maleza sobre de él y a su alrededor, para así poder garantizar un servicio continuo y de calidad.