

UCUENCA

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Evaluación del Sistema de Distribución de Agua Potable de la Parroquia Sinincay del Cantón Cuenca incorporando modelización hidráulica unidimensional como herramienta de soporte a la toma de decisiones en la reingeniería del proyecto

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Autores:

Ávila Molina Carlos Marcelo

CI: 030220010-0

carlos.avilamoli96@gmail.com

Bermeo Coyago Fabián Bolívar

CI: 010476619-1

bermeo.fabian2004@gmail.com

Directora:

Ing. Verónica Margarita Carrillo Serrano. PhD. Msc

CI:010404048-0

Cuenca-Ecuador

02-junio-2022

Resumen

En el presente estudio se propuso adicionar, a los procedimientos convencionales de evaluación de sistemas de distribución de agua potable, la modelización hidráulica de los procesos de flujo. Los modelos numéricos facilitan el análisis de escenarios diversos, aspecto que aporta de manera indiscutible a la toma las decisiones, fundamentando acciones no solo en criterios técnicos, sino además en valiosa información y datos precisos. En este sentido, se empleó el paquete computacional EPANET, desarrollado por la Agencia del Medio Ambiente de Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency -EPA-), mediante el cual es posible evaluar el desempeño hidráulico de una red. Se partió del establecimiento de una línea de base del proyecto, mediante un levantamiento integral de información clave que ha caracterizado el estado actual del sistema y sus componentes. Una vez que se dispuso del levantamiento de información, se procedió con la evaluación del desempeño hidráulico actual para identificar deficiencias de funcionalidad y servicio, a partir de lo cual se rediseñó el subsistema con mayor problemática incorporando alternativas y soluciones técnicas de mejora. Tanto el estado actual del sistema, así como, el rediseño y escenarios de flujo, fueron modelizados en EPANET, proceso que permitió validar los principales parámetros de flujo (velocidades, caudales y presiones) en los escenarios más desfavorables.

Palabras claves: Sistema de distribución de agua potable. EPANET. Modelo hidráulico de los procesos de flujo.

Abstract:

In this study, hydraulic modeling of flow processes was added to the conventional procedures for evaluating drinking water distribution systems. Numerical models support the analysis of various scenarios, an aspect that indisputably contributes to decision-making, basing choices not only on technical criteria but also on valuable information and precise data. In this sense, the EPANET computational software developed by the United States Environmental Protection Agency (U.S. Environmental Protection Agency -EPA), was used, through which it is possible to evaluate the hydraulic performance of a network. It started by establishing a database, through a comprehensive survey of key information that has characterized the current state of the system and its components. Once the information was organized, the current hydraulic performance was evaluated to identify functionality and service deficiencies, from which the subsystem with the greatest problem was redesigned, incorporating alternatives and technical solutions for improvement. Both the current state of the system, as well as the redesign and flow scenarios, were modeled in EPANET, a process that allowed validating the main flow parameters (velocities, flows, and pressures) in the most unfavorable scenarios.

Keywords: *Drinking water distribution systems. EPANET. Hydraulic modeling of flow processes.*

Tabla de contenidos

1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Antecedentes	13
1.2. Problemática y Justificación.	13
1.3. Objetivos.	14
2. CONSIDERACIONES TEÓRICAS DE DISEÑO.	15
2.1. Generalidades sobre los sistemas de abastecimiento de agua en zonas rurales.	15
2.1.1. Red de Distribución de Agua Potable	15
2.2. Consideraciones técnicas de diseño.	15
2.2.1. Normatividad.	15
2.2.2. Periodo de diseño.	16
2.2.3. Proyección Poblacional.	16
2.2.3.1. Método aritmético.	16
2.2.3.2. Método geométrico.	17
2.2.4. Nivel de servicio.	17
2.2.5. Dotación.	17
2.2.6. Cálculo de caudales.	19
2.2.6.1. Caudal medio diario (Qm).	19
2.2.6.2. Caudal máximo diario (QMD).	19
2.2.6.3. Caudal máximo horario (QMH).	19
2.2.6.4. Caudal máximo horario mayorado.	20
2.2.7. Dotación contra incendios	20
2.2.8. Caudal de diseño.	21
2.2.9. Diámetro mínimo.	21
2.2.10. Velocidad mínima y máxima.	21
2.2.11. Presiones de diseño.	21
2.2.12. Pérdidas de carga.	22
2.2.13. Envejecimiento de las tuberías.	22
2.3. Software EPANET 2.0.	22
3. MATERIALES Y MÉTODOS.	24
3.1. Descripción de la zona.	24
3.1.1. Ubicación geográfica.	24
3.1.2. Pendiente.	25
3.1.3. Pisos climáticos.	26
3.2. Servicios básicos existentes.	27
3.3. Modelización del Sistema de Distribución.	30
3.3.1. Levantamiento topográfico de la red de agua potable de la parroquia Sinincay.	30
3.3.2. Trazado del sistema de distribución.	31
3.3.3. Zonificación del Sistema de Distribución.	33
3.3.4. Diagnóstico del Sistema de Distribución	34
3.3.5. Integración de una base de datos SIG	34
3.3.6. Distribución Espacial de Medidores	36
3.3.7. Sectorización del Sistema de Distribución.	37
3.3.7.1. Discriminación de la red primaria.	37
3.3.7.2. Determinación del número de sectores.	38
3.3.7.3. Subdivisión de la RDAP en subsectores.	38
3.4. Análisis hidráulico del sistema actual mediante modelo numérico	45
3.5. Rediseño y análisis de escenarios de flujo con modelo numérico.	46
3.6. Consumos Registrados	47

3.7. Volúmenes de Reserva	47
4. RESULTADOS y DISCUSIÓN	48
4.1. Parámetros de diseño.	48
4.1.1. Proyección poblacional.	48
4.1.2. Cálculo de Caudales	48
4.1.2.1. Escenario Actual	48
4.1.2.2. Escenarios en el año 2045	49
4.1.3. Volúmenes de reserva	50
4.2. Modelización Hidráulica	51
4.2.1. Escenario Actual	51
4.3. Caracterización integral del proyecto en su estado actual.	53
4.3.1. Consumos Registrados	53
4.3.2. Presiones	54
4.3.3. Velocidades	56
4.4. Reingeniería del proyecto.	58
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1. Conclusiones	62
5.2. Recomendaciones	63
6. BIBLIOGRAFÍA	64
7. ANEXOS	67
7.1. Anexo 1: Plano del catastro del Sistema de Distribución Agua Potable perteneciente al JAAP Sinincay.	67
7.2. Anexo 2: Resultados de la encuesta de habitantes por medidor para el sector de estudio.	68
7.3. Anexo 3: Proyección aritmética de la población de Sinincay	69
7.4. Anexo 4: Proyección geométrica de la población de Sinincay	70
7.5. Anexo 5: Factor de mayoración (proyección de población aritmética)	71
7.6. Anexo 6: Factor de mayoración (proyección de población geométrica)	72
7.7. Anexo 7: Fotografías del trabajo	73
7.8. Anexo 8: Informe de Resultados Estado Actual	76

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Flujo de datos durante el proceso de análisis de una red. _____	23
Ilustración 2 Ubicación de la parroquia Sinincay a nivel parroquial _____	24
Ilustración 3. Mapa de Pendientes _____	25
Ilustración 4. Pisos climáticos de la parroquia Sinincay. _____	26
Ilustración 5. Información de la Red de Distribución Sinincay año 2015. _____	29
Ilustración 6 Trazado del sistema de distribución a nivel de servicio secundario. CAD. _____	32
Ilustración 7 División de la red de abastecimiento de agua potable Sinincay _____	33
Ilustración 9 Red de distribución Sinincay ArcGIS. Fuente: Elaboración propia _____	36
Ilustración 10 Polígonos de Thiessen. Fuente: Elaboración propia _____	37
Ilustración 11. Subsectores: Zona 1 _____	38
Ilustración 12. Subsectores: Zona 2 _____	39
Ilustración 13. Subsectores: Zona 3 _____	40
Ilustración 14 Correspondencia nudo – medidor de un tramo de tubería. ArcGIS. Fuente: Elaboración propia _____	42
Ilustración 15 Tabla de atributos medidor. ArcGIS Fuente: Elaboración propia _____	43
Ilustración 16. Tabla de atributos de los tramos de tubería. ArcGIS Fuente: Elaboración propia _____	44
Ilustración 17 Interfaz y Escenario Epanet. Fuente: Elaboración Propia _____	45
Ilustración 18 Proyección poblacional: Método geométrico _____	48
Ilustración 19. Presión de los nudos en la RDAP de Sinincay _____	52
Ilustración 20. Velocidades de los tramos de tubería en la RDAP de Sinincay _____	53
Ilustración 21. Clases de consumos _____	54
Ilustración 22. Frecuencia de valores de presión en los nudos de la RDAP _____	55
Ilustración 23. Representación gráfica de presiones en los diferentes subsistemas _____	56
Ilustración 24. Representación gráfica de valores de velocidad en los diferentes subsistemas _____	58
Ilustración 25. Reingeniería hidráulica del proyecto Subsistema I _____	60
Ilustración 26. Representación gráfica de presiones tras la reingeniería del subsistema I _____	61
Ilustración 27. Plano del Sistema de Distribución de Agua Potable administrado por el JAAP de Sinincay _____	67
Ilustración 28. Proyección poblacional: Método aritmético _____	69
Ilustración 29 Proyección poblacional: Método geométrico _____	70
Ilustración 30 Reunión con la asamblea general de socios del JAAP Sinincay _____	73
Ilustración 31. Ortofoto de la planta de tratamiento del Sistema de Distribución _____	73
Ilustración 32. Instalación del equipo base. _____	74
Ilustración 33. Georreferenciación utilizando el BM ubicado en frente de la iglesia _____	74
Ilustración 34. Levantamiento de los tanques de almacenamiento _____	74
Ilustración 35. Lectura de las coordenadas correspondientes a un accesorio _____	75
Ilustración 36. Levantamiento de información con estudiantes de prácticas preprofesionales de la Universidad de Cuenca y el personal técnico del JAAP de Sinincay _____	75

Índice de tablas

Tabla 1 Vida útil sugerida para los elementos de un sistema de agua potable.	16
Tabla 2 Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquido	17
Tabla 3 Dotaciones de agua (L/s) para diferentes niveles de servicio	18
Tabla 4 Dotación de agua (L/hab/día) por población	18
Tabla 5. Dotación de agua (L/hab/día) por zona de servicio	18
Tabla 6 Porcentaje de fugas a considerarse en el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable.	19
Tabla 7 Dotación de agua contra incendios	21
Tabla 8 Caudal de diseño para elementos del sistema de agua potable	21
Tabla 9. Clasificación de pendientes	25
Tabla 10. Porcentaje de población concentrada en cada sector de la comunidad de Sinincay. Fuente: (PDyOT Sinincay, 2015)	27
Tabla 11 Número de medidores en la zona de estudio y población del año 2020.	27
Tabla 12 Número de personas por hogar.	27
Tabla 13 Medios de Abastecimiento de agua.	28
Tabla 14 Eliminación de aguas servidas.	29
Tabla 15 Nomenclatura de zonificación	33
Tabla 16 Cuento de accesorios utilizados en el sistema actual.	34
Tabla 17 Metrado de Tuberías por diámetro.	34
Tabla 18. Subsectores de la RDAP Sinincay	40
Tabla 19 Nomenclatura de codificación	41
Tabla 20 Coeficientes. Escenario actual.	45
Tabla 21. Coeficientes para escenarios de diseño a futuro Fuente: Elaboración propia	46
Tabla 22 Cálculo de la tasa de crecimiento geométrico.	48
Tabla 23 Proyección geométrica de la parroquia Sinincay hasta el año 2050.	48
Tabla 24. Caudales Escenario Actual Fuente: Elaboración propia	49
Tabla 25. Valores de caudal para un medidor considerando escenarios de diseño a futuro Fuente: Elaboración propia	49
Tabla 26. Factores de Mayoración por Sector Fuente: Elaboración propia	50
Tabla 27. Caudal Máximo Horario Mayorado Fuente: Elaboración propia	50
Tabla 28. Volúmenes de Reserva para el escenario actual y escenario futuro	51
Tabla 29. Análisis de los Consumos Registrados Fuente: Elaboración propia	54
Tabla 30. Tabla de frecuencias de los valores de presión Fuente: Elaboración propia	55
Tabla 31. Tabla de frecuencias de los valores de velocidad Fuente: Elaboración propia	57
Tabla 32. Valores de presión en el subsistema I	61
Tabla 33 Encuesta realizada a 36 viviendas pertenecientes a la red de estudio para determinar el número de personas por medidor.	68
Tabla 34 Cálculo de la tasa de crecimiento aritmético.	69
Tabla 35 Proyección aritmética de la parroquia Sinincay hasta el año 2050.	69
Tabla 36 Proyección aritmética por zonas	70
Tabla 37 Calculo de la tasa de crecimiento geométrico.	70
Tabla 38 Proyección geométrica de la parroquia Sinincay hasta el año 2050	70
Tabla 39 Proyección geométrica por zonas	71
Tabla 40 Factor de mayoración para proyección aritmética	72
Tabla 41 Factor de mayoración para proyección geométrica	72

Cláusula de propiedad intelectual

Carlos Marcelo Ávila Molina, autor del trabajo de titulación **“Evaluación del Sistema de Distribución de Agua Potable de la Parroquia Sinincay del Cantón Cuenca incorporando modelización hidráulica unidimensional como herramienta de soporte a la toma de decisiones en la reingeniería del proyecto”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

02 de junio de 2022.



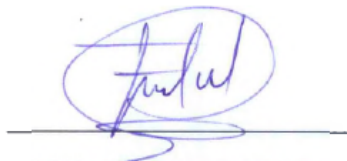
Carlos Marcelo Ávila Molina

C.I: 030220010-0

Cláusula de propiedad intelectual

Fabian Bolívar Bermeo Coyago, autor del trabajo de titulación “Evaluación del Sistema de Distribución de Agua Potable de la Parroquia Sinincay del Cantón Cuenca incorporando modelización hidráulica unidimensional como herramienta de soporte a la toma de decisiones en la reingeniería del proyecto”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

02 de junio de 2022.



Fabián Bolívar Bermeo Coyago

C.I: 010476619-1

Cláusula de licencia y autorización para la publicación en el Repositorio Institucional

Fabian Bolívar Bermeo Coyago en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**Evaluación del Sistema de Distribución de Agua Potable de la Parroquia Sinincay del Cantón Cuenca incorporando modelización hidráulica unidimensional como herramienta de soporte a la toma de decisiones en la reingeniería del proyecto**", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

02 de junio de 2022



Fabián Bolívar Bermeo Coyago

C.I: 010476619-1

AGRADECIMIENTOS

No nos gustaría dar por concluido el documento sin mostrar nuestro agradecimiento a la Universidad de Cuenca por su soporte y calidad de enseñanza durante nuestra formación académica

En primer lugar, a nuestra directora de trabajo de titulación Ing. Verónica Carrillo, por su gran capacidad de trabajo, por sus muchas sugerencias y sus buenos consejos.

A nuestro codirector de trabajo de titulación Ing. Esteban Pacheco, por su ayuda y colaboración cuando la requerimos.

Queremos acordarnos también de todas las personas que han colaborado a lo largo de este tiempo. Desde aquí nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Víctor Verdugo por transmitir su experiencia y visión práctica en el manejo del SIG. al Ing. Freddy Pacheco encargado del personal técnico del JAAP Sinincay por su colaboración.

A nuestros familiares y amigos por todo su ánimo y apoyo incondicional.

DEDICATORIA

A mis padres Marcelo e Hirma, quienes son el más claro ejemplo de la presencia de Dios en mi vida, gracias por su entrega, calidez y amor.

A mis hermanos Narda y Mateo, con quienes formó parte del mejor equipo para disfrutar espacios de vida.

A mis familiares, en especial a mis abuelos Antonio (+) y Carlos (+) por dejar huella con su ejemplo; y a mis abuelas Esthela y Yolanda por su ternura.

A mis amigos y compañeros gracias por compartir esta etapa en el camino del aprendizaje.

A las personas que presentan condiciones médicas que dificultan su diario vivir, a ustedes los animo a conseguir sus metas y no apagar la esperanza.

Marcelo Ávila Molina

A Cecilia Fárez, pues ha sido quien siempre ha estado a mi lado brindándome los ánimos y el afecto en los momentos más difíciles de esta etapa de mi vida.

A mi hijo Mateo, por ser la motivación para día a día ser mejor persona.

A mis padres Rosario y Manuel, pues siempre me han enseñado a luchar por mis sueños y anhelos.

A mis hermanos Ramiro y Tety, por el apoyo incondicional brindado durante todo el tiempo.

A todos mis familiares y amigos que han sido parte de mi formación personal y académica.

Fabián Bolívar Bermeo Coyago.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Las Juntas Administradoras de Aguas Potables (JAAP) como instituciones comprometidas con el mejoramiento integral de los sistemas de abastecimiento contemplan en sus agendas de trabajo, realizar diversos tipos de estudios, tanto en el ámbito técnico y de infraestructura, así como, en el ámbito socio-organizacional. Entre los estudios más relevantes, que permiten identificar y priorizar las acciones emergentes para incrementar sustancialmente los índices de servicio, se destacan: la evaluación hidráulica de la conducción y red de distribución, evaluación de transporte y decaimiento de cloro, y la evaluación de infraestructura en general.

En concordancia a lo señalado, y con la apertura de la Universidad de Cuenca de implementar programas de prácticas preprofesionales y proyectos de carácter técnico dentro de las opciones para el desarrollo de los trabajos de titulación; especialmente con organizaciones comunitarias que prestan sus servicios sin fines de lucro, se realizó en el presente estudio la evaluación hidráulica de la red de distribución administrada por la Junta Administradora de Agua Potable Sinincay.

1.2. Problemática y Justificación.

El indicador de acceso al servicio de agua para consumo humano en el país es alto (del orden de 70%) (INEC, 2019). Sin embargo, y de manera particular en zonas rurales, aún se presentan problemas relacionados principalmente con: aspectos de diseño, infraestructura insuficiente, calidad del recurso, procedimientos y protocolos de manejo y administración del sistema, y organización de usuarios.

La zona centro - este de Sinincay; parroquia rural del Cantón Cuenca, dispone de un sistema comunitario de abastecimiento de agua potable desde hace 25 años, que actualmente cuenta con 2300 usuarios. De manera general en el proyecto se ha evidenciado: mal estado de infraestructura (aspecto que no garantiza estándares requeridos para calidad de agua), discontinuidad y deficiencias en el servicio (especialmente en zonas altas y bajas del proyecto), presiones con valores superiores a las establecidas en la normatividad, y deficiencia en procedimientos de operación y mantenimiento. Se vuelve entonces necesario realizar una reingeniería del sistema que permita por una parte evaluar y actualizar aspectos técnicos de diseño de la red, y, por otra parte, generar información estratégica necesaria para intervención futura, manejo y toma de decisiones como: catastro de usuarios, inventario técnico de infraestructura, estado de la red, protocolos de purificación, instrumentos para operación y mantenimiento, entre otros.

En este contexto, y como un aporte de la academia a la problemática señalada, se ha planteado realizar un estudio hidráulico y de infraestructura que, con base a información relacionada con manejo, así como, operación y mantenimiento, y mediante la incorporación de herramientas computacionales modernas, permita la optimización del Sistema de Agua Potable de la Parroquia Sinincay del Cantón Cuenca.

El estudio de reingeniería planteado permitió generar información, soluciones y documentación técnica relacionada que construye la base para la inmediata y futura

planificación de acciones por parte de la Junta Administradora de Agua Potable Sinincay, aspecto que aportará de manera sustancial al mejoramiento de las actuales condiciones relacionadas con salubridad pública y dotación de servicios básicos en la comunidad. Adicionalmente, es importante relieves que, con la intervención planificada se han dispuesto resultados y/o productos adicionales que aportarán a los procesos formativos y profesionales del ámbito de Ingeniería del Agua de la carrera de Ingeniería Civil.

1.3. Objetivos.

Objetivo general.

- Evaluar el Sistema de Distribución de Agua Potable de la Parroquia Sinincay del Cantón Cuenca incorporando modelización hidráulica unidimensional como herramienta de soporte a la toma de decisiones en la reingeniería del proyecto.

Objetivos específicos.

- Caracterizar el estado actual del sistema en aspectos relacionados con: esquema hidro técnico, infraestructura, alcance del servicio, configuración y diseño de la red y, parámetros de funcionalidad.
- Proponer el rediseño de la red de distribución en el subsistema que abastece a la región con mayor deficiencia de servicio incorporando un modelo numérico para caracterizar el desempeño hidráulico del sistema actual y para el análisis de escenarios de flujo.

2. CONSIDERACIONES TEÓRICAS DE DISEÑO.

2.1. Generalidades sobre los sistemas de abastecimiento de agua en zonas rurales.

El abastecimiento de agua para consumo humano y usos domésticos es un requisito básico indispensable para hogares y comunidades del país. El agua potable mejora la calidad de vida de los habitantes que tienen acceso a la misma, disminuye el riesgo de contraer enfermedades y provocar focos infecciosos, es decir tiene una influencia directa favorable en el campo de la salud.

A diferencia de los grandes asentamientos urbanos, para las pequeñas comunidades de las zonas rurales, los métodos convencionales de abastecimiento, extracción y suministro de agua no son rentables. Especialmente en las zonas rurales de los países en desarrollo, que necesitan métodos alternativos simples para satisfacer sus necesidades de agua doméstica.

El suministro de agua a comunidades rurales puede provenir de agua de lluvia, agua subterránea o agua superficial. A menudo, las fuentes de aguas superficiales están más contaminadas que las aguas subterráneas, lo que requiere el tratamiento del agua y por lo tanto aumentan los costos de los proyectos de abastecimiento.

2.1.1. Red de Distribución de Agua Potable

La Red de Distribución de Agua Potable (RDAP) es el conjunto de tuberías, válvulas, medidores, accesorios y equipos complementarios cuya función es suministrar agua potable a los consumidores, siendo necesario el cumplimiento de condiciones de calidad, cantidad y continuidad.

2.2. Consideraciones técnicas de diseño.

2.2.1. Normatividad.

El Código Ecuatoriano de la Construcción exige el cumplimiento de normas técnicas en los diseños de sistemas de abastecimiento de agua potable; proporcionando un conjunto de criterios básicos, con el propósito de que se ejecuten proyectos dentro de un marco técnico adecuado para la realidad ecuatoriana.

En función de las condiciones sociales, económicas y geo-políticas de la zona de estudio, se han tomado los criterios expuestos en las siguientes normas: La NORMA CO 10.7-602 “Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural”, y la NORMA CO 10.7 601 “Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes”

A nivel cantonal, ETAPA EP institución encargada del manejo de agua potable del cantón Cuenca proporciona criterios de diseño en los “Estudios y Diseños Finales de los Planes

Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca (Ecuador) II ETAPA”, los mismos que fueron tomados en este estudio.

Adicionalmente, se utilizaron los lineamientos recomendados por la “Guía para el diseño de redes de distribución en sistemas rurales de abastecimiento de agua” del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

2.2.2. Periodo de diseño.

Según la NORMA CO 10.7-601, los sistemas de abastecimiento de agua potable deben garantizar la rentabilidad de todas las obras del sistema durante el periodo de diseño escogido. Para el desarrollo de este proyecto se diseñó la red de distribución con tuberías de PVC, por lo que se ha considerado un periodo de 25 años, de acuerdo a lo que indica la Tabla I.

Componente	Vida útil (años)
Diques grandes y túneles	50 a 100
Obras de captación	25 a 50
Pozos	10 a 25
Conducciones de hierro dúctil	40 a 50
Conducciones de asbesto cemento o PVC	20 a 30
Planta de tratamiento	30 a 40
Tanques de almacenamiento	30 a 40
Tuberías principales y secundarias de la red:	
De hierro dúctil	40 a 50
De asbesto cemento o PVC	20 a 25

Tabla I Vida útil sugerida para los elementos de un sistema de agua potable.
Fuente: (CO 10.07 - 601)

2.2.3. Proyección Poblacional.

El crecimiento demográfico es uno de los aspectos principales a considerar para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de distribución que se va a diseñar, por ende, es necesario proyectar cómo se comportará la población que se sirve del sistema durante los años que va a funcionar, sobre todo cuanta población nueva se abastecerá de la red.

Para la proyección de la población se han usado los siguientes métodos:

2.2.3.1. Método aritmético.

Es un método que predice la población a corto plazo, hace el uso de una progresión aritmética y se basa en un incremento constante de la población.

$$P_f = P_a + r \times n \quad \text{Ecuación I}$$

donde:

P_f [Hab]: población futura.
 P_a [Hab]: población actual.
 r [Hab/año]: tasa de crecimiento aritmético expresada como fracción decimal.
 n [año]: Número de años.

2.2.3.2. Método geométrico.

El método geométrico considera que el aumento de la población es proporcional al tamaño de la misma, es decir, que considera un incremento poblacional de tipo exponencial. Para el cálculo de este incremento se utilizó la siguiente fórmula:

$$P_f = P_0 \times (1 + r_g)^n \quad \text{Ecuación 2}$$

donde:

P_f [Hab]: población futura.
 P_0 [Hab]: población actual.
 r_g [Hab/año]: Tasa de crecimiento geométrico de la población expresada como fracción decimal.
 n [año]: número de años.

2.2.4. Nivel de servicio.

Según la NORMA CO 10.7 – 602 se consideran los diferentes niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua, dado que en la parroquia Sinincay los usuarios disponen de conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa y sistema de alcantarillado sanitario; se ha determinado que tiene un nivel de servicio IIb, de acuerdo a lo que indica la Tabla 2.

Nivel de servicio	Sistema	Descripción
0	AP, EE	Sistemas individuales. Diseñar de acuerdo a las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económica del usuario
Ia	AP, EE	Grifos públicos Letrinas sin arrastre de agua
Ib	AP, EE	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño Letrinas sin arrastre de agua
IIa	AP, EE	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa Letrinas con o sin arrastre de agua
IIb	AP, ERL	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa Sistema de alcantarillado sanitario

Nota: AP: Agua potable, EE: Eliminación de excretas ERL: Eliminación de residuos líquidos
Tabla 2 Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos.

Fuente: (CO 10.7 - 602, 2019)

2.2.5. Dotación.

La dotación es variable de acuerdo a usos, costumbres, actividad económica, condiciones geopolíticas y condiciones de saneamiento de cada zona.

Según la norma CO 10.7-602 la dotación está en función del nivel de servicio y el clima de la zona de estudio, se consideró un nivel de servicio **IIb** y sus asentamientos poblados presentan un clima templado (PDyOT Sinincay, 2015), por lo que se ha utilizado una dotación de 75 L/hab/día, de acuerdo a lo que indica la Tabla 3.

Nivel de servicio	Clima Frio	Clima Cálido
Ia	25	30
Ib	50	65
IIa	60	85
IIb	75	100

Tabla 3 Dotaciones de agua (L/s) para diferentes niveles de servicio
Fuente: (CO 10.7 - 602, 2019)

Según la norma CO 10.7-601, la dotación depende de las condiciones del clima y la cantidad de habitantes, Sinincay es una parroquia con una población estimada de 17492 habitantes y sus asentamientos poblados presentan un clima templado (PDyOT Sinincay, 2015); se ha considerado entonces una dotación de 205 L/hab/día al tomar el valor promedio del rango, de acuerdo a lo que indica la Tabla 4.

Población (habitantes)	Clima	Dotación media futura (L/hab/día)
Hasta 5000	Frío	120 - 150
	Templado	130 - 160
	Cálido	170 - 200
5000 a 50000	Frío	180 - 200
	Templado	190 - 220
	Cálido	200 - 230
Más de 50000	Frío	>200
	Templado	>220
	Cálido	>230

Tabla 4 Dotación de agua (L/hab/día) por población
Fuente: (CO 10.07 - 601)

ETAPA EP específica en los estudios de diseño finales que las dotaciones están en función de la zona de servicio, se ha utilizado una dotación bruta de 200 L/hab/día en el centro parroquial y 150 L/hab/día la zona rural, de acuerdo a lo que indica la Tabla 5.

Zona de Servicio	Dotación Neta (L/hab/día)	% de Pérdidas	Dotación Bruta (L/hab/día)
Centros Parroquiales	150	25	200
Rural	113	25	150

Tabla 5. Dotación de agua (L/hab/día) por zona de servicio
Fuente: (ETAPA EP, 2004)

2.2.6. Cálculo de caudales.

2.2.6.1. Caudal medio diario (Q_m).

Es el caudal correspondiente al promedio de los caudales diarios utilizados por una población determinada, dentro de una serie de valores medidos a lo largo de un año. En virtud del registro de consumos mensuales de cada medidor, el caudal medio diario se ha obtenido al multiplicar el promedio mensual de los consumos registrados, por el factor de fugas:

$$Q_d = \frac{\sum \text{Consumo} \times 1000}{30 \times 86400} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde:

Q_d [L/s]: Caudal calculado de consumo.

$\sum \text{Consumo}$ [m³]: Sumatoria de los valores del consumo promedio mensual de todos los medidores.

Por lo tanto, para el cálculo del caudal medio diario, se dispuso de la siguiente expresión:

$$Q_{md} = Q_d \times f \quad \text{Ecuación 4}$$

donde:

Q_{md} [L/s]: Caudal medio diario.

Q_d [L/s]: Caudal calculado de consumo.

f: Factor de fugas (ver *Tabla 6*).

Nivel de servicio	Porcentaje de fugas (%)
Ia y Ib	10
IIa y IIb	20

Tabla 6 Porcentaje de fugas a considerarse en el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable.
Fuente: (*Secretaría Nacional del Agua, 1997*).

2.2.6.2. Caudal máximo diario (QMD).

El consumo máximo diario se obtuvo multiplicando el consumo medio diario por el coeficiente de mayoración diaria, este se expresa como:

$$QMD = Q_{md} \times KMD \quad \text{Ecuación 5}$$

donde:

QMD[L/s]: Caudal máximo diario.

KMD: Coeficiente de mayoración máximo diario.

Se ha planteado un factor de mayoración máximo diario (KMD) de 1.25, para todos los niveles de servicio, conforme recomienda la NORMA CO 10.7-602.

2.2.6.3. Caudal máximo horario (QMH).

El caudal máximo horario es la demanda que se presenta durante la hora de máximo consumo, este se expresa como:

$$QMH = Q_{md} \times KMH$$

Ecuación 6

donde:

QMH[L/s]: Caudal máximo horario.

KMH: Coeficiente de mayoración máximo horario.

Para el coeficiente de mayoración máximo horario (KMH) se han considerado varios valores para diferentes análisis, cada coeficiente obedece a una normativa específica.

KMH=1.82 utilizado según el criterio de ETAPA.

KMH =2.3 de acuerdo a la norma CO 10.7-601 y

EKMH = 3.0 conforme a lo que recomienda a la norma CO 10.7-602

2.2.6.4. Caudal máximo horario mayorado.

Para el caudal de diseño se asignó un factor de mayoración al caudal máximo horario de acuerdo a las necesidades del proyecto y el crecimiento poblacional estimado.

$$QMH_{Mayorado} = QMH \times FM$$

Ecuación 7

donde:

FM: Factor de mayoración o de ajuste.

El factor de mayoración se determinó mediante la siguiente expresión:

$$FM = \frac{Pob.Proy.}{Pob.Calc.}$$

Ecuación 8

donde:

Pob.Proy.: Población futura para el final del periodo de diseño.

Pob.Calc.: Número de medidores de la zona de estudio multiplicado por el número de personas promedio por hogar¹.

Se debe considerar las siguientes condiciones según (Román & Muñoz, 2018)

Sí:

FM ≤ 1: Asignar a los nodos el QMH.

1 < FM ≤ 2: Asignar a los nodos el QMH mayorado.

FM > 2: Asignar a los nodos 2 x QMH.

2.2.7. Dotación contra incendios

Se establece considerando la cantidad de habitantes y el número de incendios simultáneos, se ha considerado una dotación de 10 L/s para la parroquia Sinincay.

¹ De acuerdo ETAPA.EP. se recomienda un valor de 3.8 como el número promedio de personas que habitan en una vivienda.

Número de habitantes (en miles)	Número de incendios simultáneos	Dotación por incendio (l/s)
5	1	10
10	1	10
25	2	10
50	2	20
100	2	25
200	3	25
500	3	25
1000	3	25
2000	3	25

Tabla 7 Dotación de agua contra incendios

Fuente: (CO 10.07 - 601)

2.2.8. Caudal de diseño.

La norma CO 10.7-601 establece el caudal de diseño considerando el propósito de los elementos que conforman el sistema de abastecimiento, de acuerdo a lo que indica la Tabla 8.

Elemento	Caudal
Captación de aguas superficiales	Máximo diario + 20%
Captación de aguas subterráneas	Máximo diario +5%
Conducción de aguas superficiales	Máximo diario + 10%
Conducción de aguas subterráneas	Máximo diario + 5%
Red de distribución	Máximo diario + incendio
Planta de Tratamiento	Máximo diario + 10%

Tabla 8 Caudal de diseño para elementos del sistema de agua potable

Fuente: (CO 10.7 - 602, 2019)

2.2.9. Diámetro mínimo.

Según la NORMA CO 10.7-602, el diámetro nominal mínimo de los conductos de la red será de 19mm (3/4").

2.2.10. Velocidad mínima y máxima.

En lo referente a la velocidad de flujo dentro de la red de distribución de agua potable, de acuerdo a CEPIS, 2005, recomienda que la velocidad mínima en ningún caso será menor a 0.3 m/s y deberá garantizar la autolimpieza de la red, se debe mantener en un rango de velocidades de 0.5 - 1.00 m/s. La velocidad máxima en la red de distribución no deberá exceder los 2 m/s.

2.2.11. Presiones de diseño.

Según la NORMA CO 10.7-601 las presiones en la red se comprobarán para el caudal máximo horario al final del periodo de diseño, a continuación, se especifica las siguientes presiones con las que se debe cumplir:

- La presión estática máxima será de $7 \text{ Kg/cm}^2 \approx 70 \text{ m.c.a.}$
- La presión dinámica máxima será de $5 \text{ Kg/cm}^2 \approx 50 \text{ m.c.a.}$
- La presión dinámica mínima será de $1 \text{ Kg/cm}^2 \approx 10 \text{ m.c.a.}$

2.2.12. Pérdidas de carga.

Para el cálculo de las pérdidas producidas por fricción de la tubería se ha utilizado la ecuación de Darcy-Weisbach, las siguientes expresiones son empleadas por el paquete computacional EPANET.

$$h_f = f \times \frac{L \times v^2}{D \times 2g} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$f = \frac{64}{Re} \quad Re < 2000 \quad \text{Ecuación 9}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7 \times D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad Re > 4000 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$Re = \frac{D \times v}{\nu} \quad \text{Ecuación 11}$$

donde:

h_f [m]: Pérdidas por fricción.

f [-]: factor de fricción de Darcy-Weisbach.

L [m]: Longitud del tramo.

v [m/s]: Velocidad media de flujo.

D [mm]: Diámetro de la tubería.

ε [mm]: Rugosidad absoluta de la tubería (mm)

Re [-]: Numero de Reynolds.

ν [m^2/s]: Viscosidad cinemática del agua.

2.2.13. Envejecimiento de las tuberías.

Con el envejecimiento de tuberías, la sostenibilidad del nivel de servicio de abastecimiento de agua en una red de tuberías puede verse afectada negativamente debido a la reducción de caudales provocada por la corrosión o el depósito de incrustaciones en las tuberías (Ratnasooriya & Wijesekara, 2009).

De acuerdo a IERE, 2017 las tuberías de PVC no se corroen ni se ponen rugosas, manteniendo así las propiedades hidráulicas del sistema de agua alrededor de los valores de las especificaciones originales de diseño de la instalación.

2.3. Software EPANET 2.0.

EPANET es un programa de computador, que realiza simulaciones del comportamiento hidráulico, en redes de distribución a presión. Este programa determina el caudal en todas las conducciones, las presiones en los nodos y las velocidades de los tramos de tubería, entre otros. Por ser una herramienta diseñada para el estudio del movimiento y destino de los componentes del agua en una red de distribución, se puede emplear en diferentes aplicaciones tales como: calibración de modelos hidráulicos y valoración de

riesgos a las cuales están sometidos los consumidores entre otros, es una herramienta computacional ampliamente utilizada para el análisis de sistemas de distribución (Rossman, 2017).

El desarrollo de estos modelos requiere establecer las condiciones iniciales tanto para nodos, tuberías, válvulas, tanques de almacenamiento. Por lo que se vuelve necesario contextualizar el modelo organizando información básica del área del proyecto (ubicación, clima, topografía, servicios básicos, distribución de la población, ente otros).

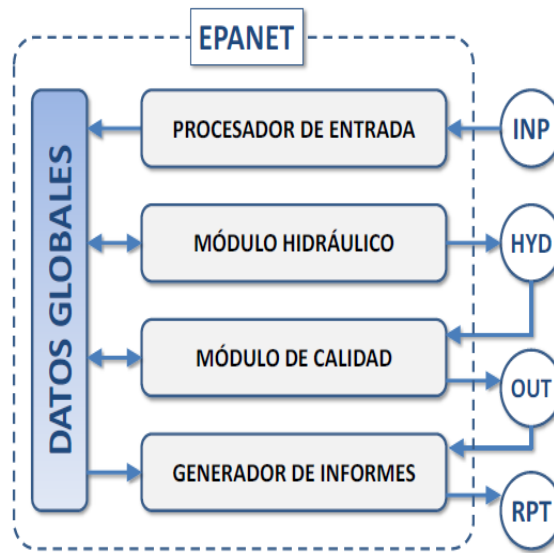


Ilustración 1. Flujo de datos durante el proceso de análisis de una red.
Fuente: (Bartolín, 2013).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Descripción de la zona.

3.1.1. Ubicación geográfica.

La Parroquia Sinincay está ubicada en el cantón Cuenca, en la provincia del Azuay, cuenta con 38 comunidades, con una extensión total de 24.9 km², latitud de -2.8513° y longitud de -79.0141°, con una altura media comprendida entre 2567 y 3959 msnm. Al ser una parroquia cercana al centro del cantón Cuenca es considerada una zona de crecimiento urbano. En la Ilustración 2 se presenta la ubicación geográfica de la zona de estudio.

Los límites territoriales de la parroquia Sinincay son:

Al Norte: La Parroquia Chiquintad.

Al Sur: Con las parroquias urbanas Bellavista y El Vecino.

Al Este: La Parroquia urbana Hermano Miguel.

Al Oeste: La Parroquia Sayausí.



Ilustración 2 Ubicación de la parroquia Sinincay a nivel parroquial

3.1.2. Pendiente.

De acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDyOT Sinincay, 2015) la parroquia Sinincay dispone de escasa área entre plana a ligeramente plana para el desarrollo de la construcción de viviendas. Solamente el 11.65 % (545.79 ha) tiene pendientes menores a 5 %, y el 8.79 % (411.81 ha) menores a 3 %. Además, la mayor proporción de superficie, que a su vez presenta pendientes altas se encuentran en zonas de páramo, reduciendo notablemente el área donde se asientan los centros poblados. En la Tabla 9 se presenta el rango de pendientes con sus correspondientes porcentajes de área.

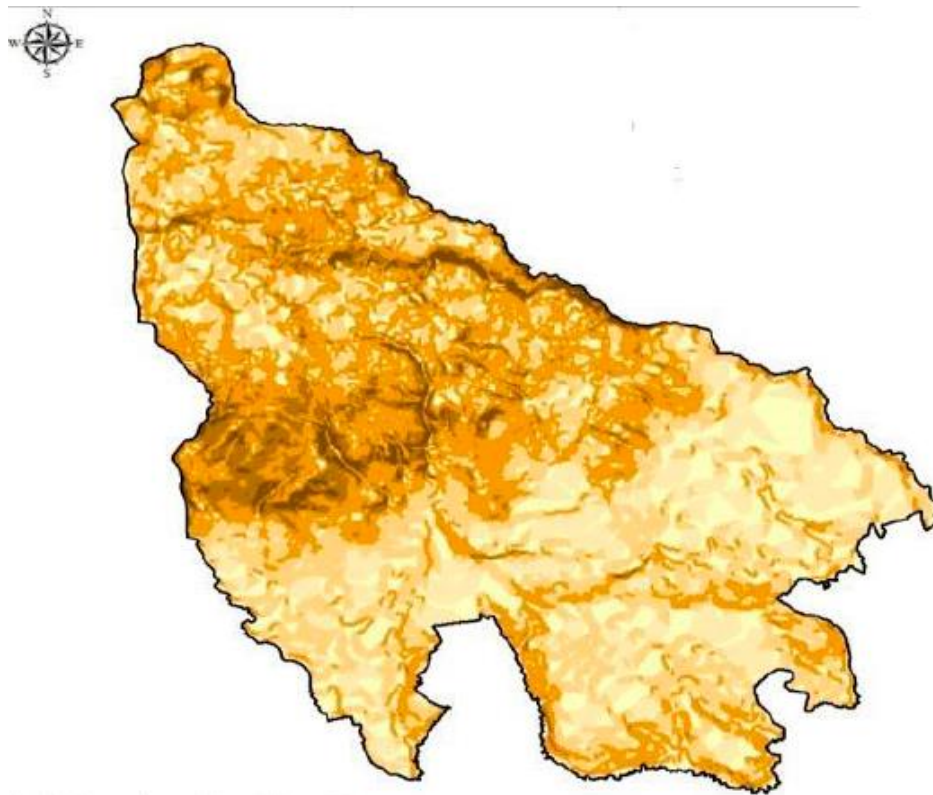


Ilustración 3. Mapa de Pendientes
Fuente: (PDyOT Sinincay, 2015)

Rango	Área (ha)	Porcentaje (%)
0 - 5	545,79	11,65
5 - 12	752,11	16,06
12 - 25	1.417,06	30,25
25 - 50	1.499,87	32,02
50 - 70	1.499,87	7,59
> 70	113,74	2,43

Tabla 9. Clasificación de pendientes
Fuente: (PDyOT Sinincay, 2015)

3.1.3. Pisos climáticos.

En la parroquia de Sinincay se encuentran dos pisos climáticos, el frío andino y el templado interandino, las comunidades pobladas presentan un piso climático templado interandino, de acuerdo a lo que se observa en la ilustración 4.



Ilustración 4. Pisos climáticos de la parroquia Sinincay.

3.1.4. Distribución de población

Al no contar con información referente a la distribución de la población en los censos de población efectuados, se usó el porcentaje de población registrado en el PDOT Sinincay de 2015, estos porcentajes se usaron como valores constantes para la estimación de la población futura de acuerdo a lo que se indica en la tabla 10.

DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR EL TAMAÑO DE LA COMUNIDAD	
ZONA I	
Alisos	1.49%

La Dolorosa	2.98%
Galuy	1.41%
Pampa de Rosas	2.12%
Cruz Calle	1.75%
ZONA 2	
Chamana	1.04%
Mayancela	4.33%
Chico Patamarca	1.47%
ZONA 3	
Patamarca chico	1.64%
Pampa de Rosas	2.12%
Rosas Loma	2.69%
Perlas Pamba	1.74%
Victoria la Calzada	0.78%
Centro Parroquial	4.40%
Victoria Hermano Miguel	0.78%
Victoria el Tablón	0.81%

Tabla 10. Porcentaje de población concentrada en cada sector de la comunidad de Sinincay.
Fuente: (PDyOT Sinincay, 2015)

Se consideró como población actual, el valor resultante de multiplicar el número de medidores del año 2020 por el promedio de personas por hogar, ETAPA EP considera un valor promedio de 3.82 personas por hogar en el cantón Cuenca. En la tabla 11 se muestra cómo se obtuvo la población actual de la comunidad La Dolorosa.

Zona de estudio	Numero de medidores	Población 2020
La Dolorosa	144	548

Tabla 11 Número de medidores en la zona de estudio y población del año 2020.

En cuanto al número de personas por hogar, el PDOT Sinincay de 2015 señala que en el 55% de los hogares de la parroquia de Sinincay se tiene entre 2 a 4 de habitantes por hogar, como se observa en la Tabla 12.

Personas por hogar	Casos	%
1	462	11.3
2	662	16.3
3	751	18.3
4	855	20.9
5	617	15.1
6	341	8.3
7	195	4.8
8	114	2.8
más de 8	100	2.4
Total	4097	100

Tabla 12 Número de personas por hogar.
Fuente: (PDyOT Sinincay, 2015).

3.2. Servicios básicos existentes.

3.2.1. Abastecimiento de agua potable.

De acuerdo a la información proporcionada por la Empresa ETAPA, las comunidades servidas con infraestructura de servicio de agua de la Red Pública son en su mayoría las que se encuentran más próximas a la ciudad de Cuenca. Por otro lado, se contabiliza que 5 de las 38 comunidades identificadas no disponen de infraestructura para agua de la red pública, estas son: la comunidad San Luis de las Lajas, Sigcho, 24 de Mayo, Cochas y Santa Isabel, como puede observarse en la Tabla 13.

Categorías	Censo 1990		Censo 2001		Censo 2010	
	Casos	%	Casos	%	Casos	%
Red publica	1441	46.39	2044	70.05	3425	86
Pozo	172	5.54	148	5.07	23	1
Rio, acequia, etc.	1296	41.73	544	18.64	401	10
Carro repartidor	15	0.48	33	1.13	-	-
Otro (Agua lluvia/albarrada)	182	5.86	149	5.11	139	3
Total	3106	100	2918	100	3988	100

Tabla 13 Medios de Abastecimiento de agua.

Fuente: (PDyOT Sinincay, 2015).

En la actualidad Sinincay cuenta con dos sistemas de distribución de agua potable administrados independientemente; el sistema de distribución gestionado por ETAPA el cual abastece a los sectores (Playa del Carmen, Pan de Azúcar, El Carmen, San José de Carmen, Jesús del Gran Poder, Cruce al Carmen, Nuevos Horizontes, Bellavista, Chictarrumi, María Auxiliadora, Pumayunga, Pumayunga Alto, Corazón de Jesús y Yanaturo), ubicados en la zona sur de la parroquia; y el sistema de distribución administrado por la Junta Administradora de Agua Potable de Sinincay el cual abastece a los sectores (El Salado, La Dolorosa, Galuay, Aliso, Cruz Calle, Pampa de Rosas, Chamana, Chico Patamarca, Centro Parroquial, Daniel Durán, Perlas Pamba, Rosas Loma, Tres Cruces y La Victoria) ubicados en la zona centro este de la parroquia.

El presente estudio se enfocó en la evaluación hidráulica de la red de distribución administrado por el JAAP Sinincay, en la ilustración 5 se delimita de color rojo el área abastecida por este sistema de abastecimiento en el año 2015.

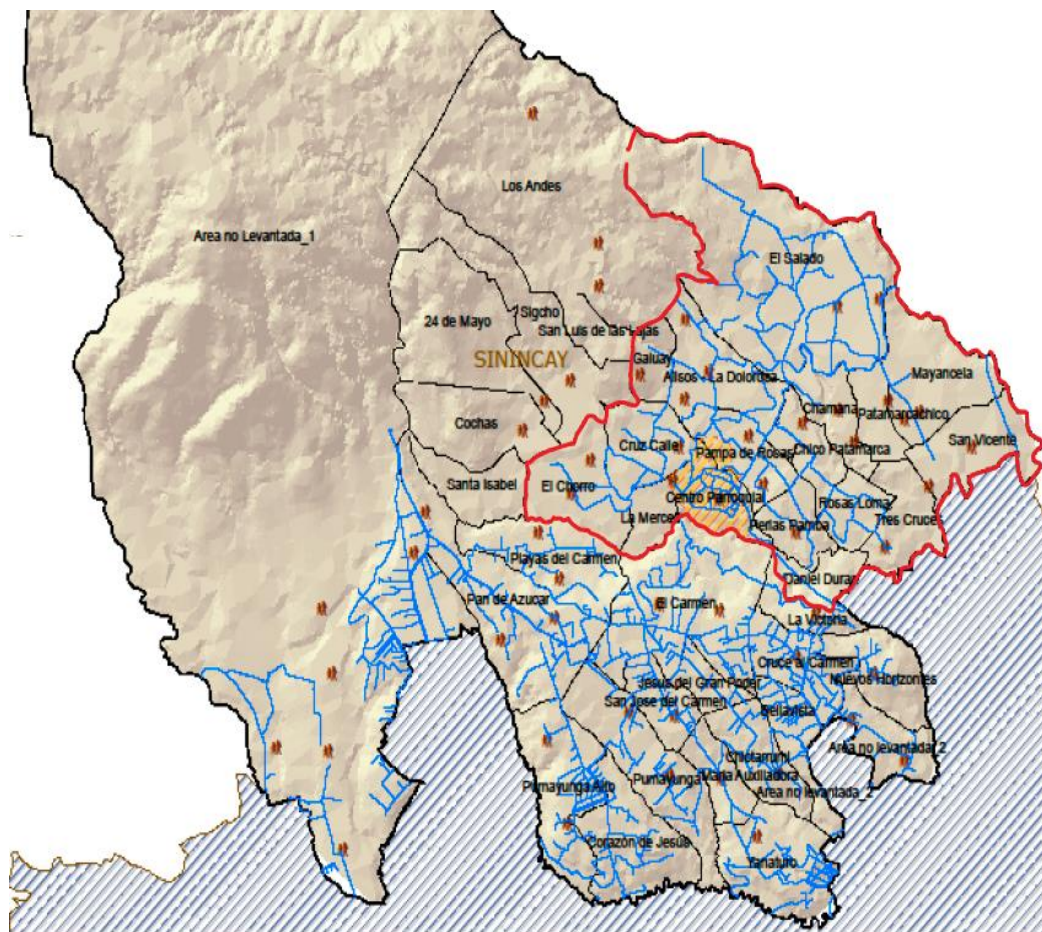


Ilustración 5. Información de la Red de Distribución Sinincay año 2015.
Fuente: (PDyOT Sinincay, 2015).

3.2.2. Sistema de alcantarillado.

En cuanto al servicio de alcantarillado existe un déficit marcado en relación al acceso al mismo, pues de acuerdo a los datos proporcionados por la Empresa ETAPA, 16 de las 38 comunidades identificadas en la parroquia, es decir el 42% de estas, no poseen infraestructura para este servicio y las comunidades en las que existe dicha infraestructura no están servidas en su totalidad.

	Censo 1990		Censo 2001		Censo 2010	
	Casos	%	Casos	%	Casos	%
Red pública de alcantarillado	341	10.98	799	27.38	1792	45
Pozo ciego	314	10.11	351	12.03	101	3
Pozo séptico	-	-	643	22.38	949	24
Con descarga con directo al mar, río, lago o quebrada.	-	-	-	-	591	1
Letrina	-	-	-	-	48	1
Otro	377	12.14	1115	38.21	-	-
Ninguna	2074	66.77			507	13
Total	3106	100	2918	100	3988	100

Tabla 14 Eliminación de aguas servidas.
Fuente: (PDyOT Sinincay, 2015).

3.3. Modelización del Sistema de Distribución.

Martínez et al., 2013, propone siete etapas sucesivas encaminadas a la modelización de un sistema de distribución de agua:

1. Recopilación de información.
2. Estructuración de la red.
3. Análisis de los consumos registrados y asignación de los mismos a los diferentes nudos del modelo.
4. Reparto de los consumos "no registrados".
5. Medición de parámetros de la red tales como curvas características de las bombas, cubicación de los depósitos, consignas de las válvulas reguladoras, etc.
6. Comprobación del modelo inicial, lo que implica procesar el modelo para diferentes estados de la red y realizar mediciones de las variables hidráulicas (presiones y caudales) en el sistema real para las mismas situaciones.
7. Calibración del modelo inicial en base a las medidas de campo realizadas.

Estas fases referenciales sirvieron para trazar un orden en el procedimiento metodológico utilizado para simplificar el modelado hidráulico. De las cuales, la Etapa 5, 6 y 7 no se consideraron porque no corresponden al alcance del presente estudio.

A continuación, se presentan las siguientes actividades de trabajo ejecutadas:

3.3.1. Levantamiento topográfico de la red de agua potable de la parroquia Sinincay.

Para el levantamiento de datos topográficos y el diagnóstico del proyecto de distribución de agua potable se generaron acuerdos de colaboración con la JAAP Sinincay. El primer acuerdo de colaboración se trató de la asistencia del personal técnico del JAAP Sinincay para la captura de información de los elementos componentes del sistema de distribución. Además, en el segundo acuerdo se solicitaron permisos para el uso del equipo de levantamiento con sistema de posicionamiento global diferencial DGPS (SinoGNNS T300 by ComNav Technology Ltd); este equipo de levantamiento presenta un alcance de 10 km desde la base hasta su receptor y permite aplicar las correcciones diferenciales en tiempo real mediante el uso de un enlace entre la estación base y el receptor, método que se aplicó para realizar las mediciones.

En el caso de los nudos, los consumos han sido ingresados en ciertas confluencias de tuberías, con lo que aparecerán nudos cargados con la información de los consumos facturados por los usuarios pertenecientes al JAAP Sinincay. Los registros de consumo fueron proporcionados por el personal administrativo y las coordenadas de los medidores georreferenciados de la RDAP fueron proporcionados por el personal técnico, toda esta información es referente al año 2020.

En lo que se refiere a tuberías, la información más relevante a efectos de modelización hidráulica es el diámetro interno, la longitud, el valor de rugosidad, el trazado, la conectividad (conexión de los nudos extremos), el material y la edad. Para el caso de válvulas, es necesario conocer la ubicación, diámetro, tipo (reguladora, reductora, sostenedora), modo de operación, material, estado de conservación, etc. (Bartolín, 2013). El levantamiento de datos en campo se realizó en conjunto con el personal

técnico del JAAP Sinincay y estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Cuenca que cumplan sus prácticas preprofesionales.

3.3.2. Trazado del sistema de distribución.

De acuerdo a Martínez et al (2013), desde un punto de vista hidráulico, cuando el uso del modelo queda relegado a fines de análisis y diseño, no tiene sentido descender a un gran nivel de detalle, ya que normalmente no es necesario conocer las presiones en cada uno de los nudos y acometidas de la red, siendo por otra parte insignificante la contribución hidráulica de las tuberías menores y de servicio sobre el comportamiento de la red arterial. Bajo este concepto, el trazado de la red se detalló con un nivel de servicio secundario. La información de trazado se exportó al programa AutoCAD Civil 3D, manteniendo las características de la red como: la longitud, el material de tubería, los diámetros y accesorios, (véase a detalle en el Anexo I). En la Ilustración 6 se presenta el detalle del trazado de la red de distribución con sus correspondientes diámetros de la tubería.

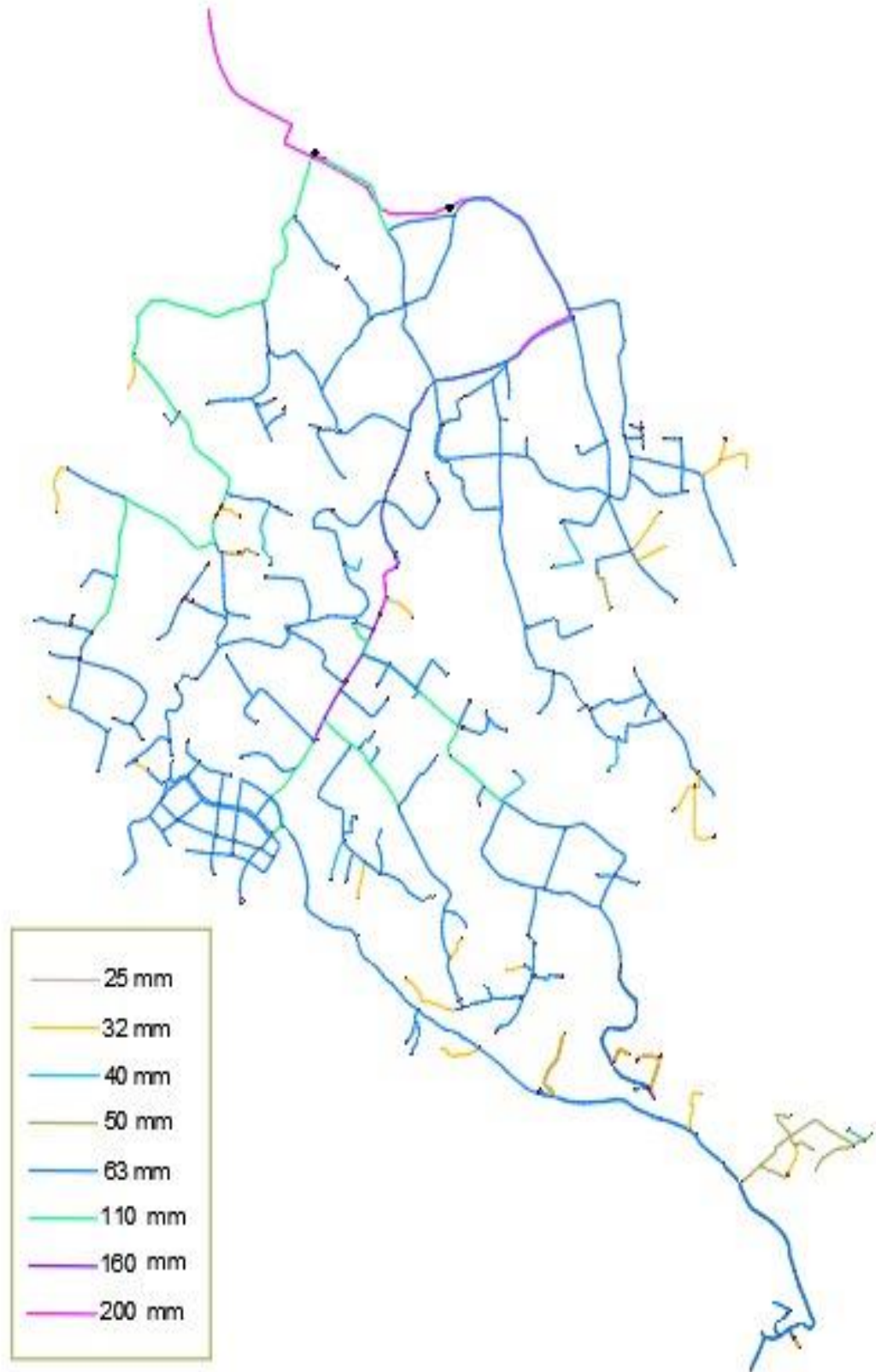


Ilustración 6 Trazado del sistema de distribución a nivel de servicio secundario. CAD.
Fuente: Elaboración Propia

3.3.3. Zonificación del Sistema de Distribución.

La representación visual del sistema de distribución permitió zonificar su red identificando tres subsistemas, cada subsistema está conformado por un conjunto de elementos interconectados que distribuyen el agua a los diferentes sectores que lo conforman. Las tuberías de subsistemas diferentes no están interconectadas entre sí, únicamente están conectadas a la tubería matriz con un accesorio (cruz). En la red de agua potable de Sinincay cada zona de distribución se denominó en función de la demanda requerida para abastecer a cada subsistema: la zona de menor demanda (Z1), zona de demanda intermedia (Z2) y zona de mayor demanda (Z3) tal como se presenta en la Tabla 15 y en la Ilustración 7 que se presentan a continuación.

Nomenclatura	Zona que requiere una	Demanda (L/s)
Z1	menor demanda	2.88
Z2	demanda intermedia	3.89
Z3	mayor demanda	8.55

Tabla 15 Nomenclatura de zonificación

División en 3 zonas de la red de abastecimiento de agua potable Sinincay

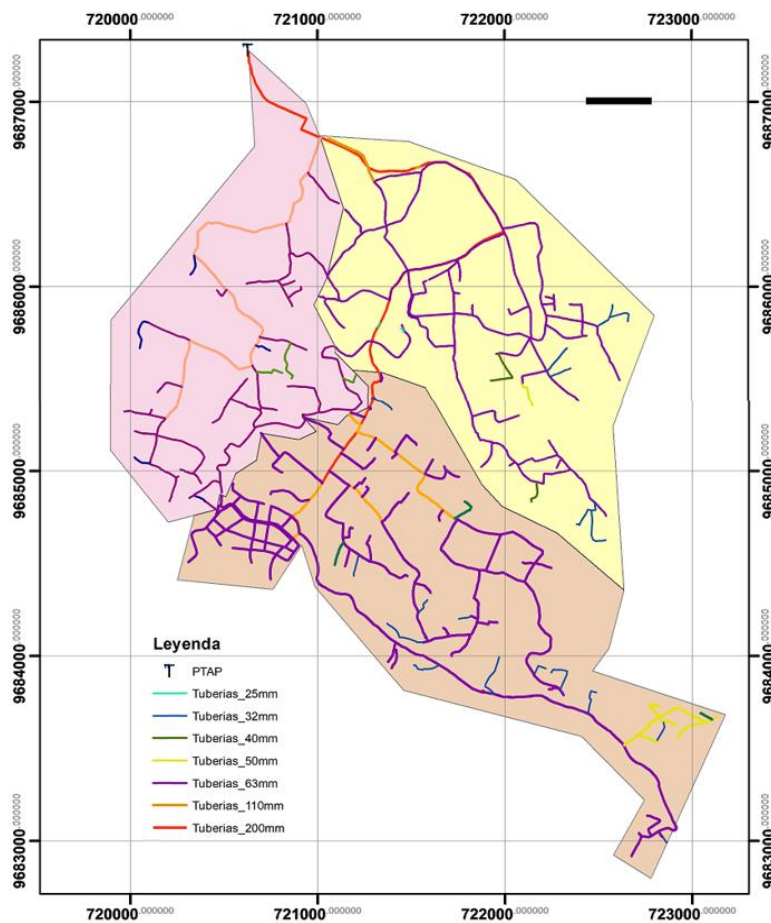


Ilustración 7 División de la red de abastecimiento de agua potable Sinincay

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Diagnóstico del Sistema de Distribución

La cantidad de los accesorios empleados en el sistema actual se han obtenido a través de un conteo realizado y de la verificación del catastro, los accesorios identificados son: válvula de purga, válvula de control, tanque rompe presiones, tanque de reserva, medidores, collarines, uniones, codos, tapones, adaptadores, reducciones, entre otros; el detalle de los mismos se presenta en la tabla 16. Así mismo, el metrado de tubería se presenta en la tabla 17.

Accesorios	Zonas			Total
	1	2	3	
Tanque de almacenamiento	0	2	5	7
Válvula de purga	5	3	9	17
Válvula de control	11	16	27	54
Hidrante	0	0	1	1
Medidores	478	601	1227	2306
Collarín	1	0	0	0
Unión	11	4	3	18
Codo	11	17	21	49
Tapón	35	40	64	139
Tee	32	57	94	183
Adaptador	2	0	0	2
Reductor	5	3	10	18

Tabla 16 Conteo de accesorios utilizados en el sistema actual.

TUBERIA Ø (mm)	ZONAS			Total (m)
	1	2	3	
25,4	0	46,82	0	46,82
32	521,75	1028,05	1654,04	3203,84
40	319,57	394,6	361,81	1075,98
50	147,94	137,54	1147,75	1433,23
63	6753,41	13603,97	17156,78	37514,16
110	2814,79	365,62	1641,19	4821,60
160	0	0	480,13	480,13
200	0	52,79	2640,65	2693,44

Tabla 17 Metrado de Tuberías por diámetro.

3.3.5. Integración de una base de datos SIG

Una vez actualizada, organizada y validada la recopilación de datos; se integró una base de datos SIG, como instrumento ideal para proporcionar información orientada a las tareas de planificación, diseño, operación y ejecución del sistema de distribución de agua potable. En adición, estos sistemas de información permitieron enlazar registros geográficos a las características del RDAP, facilitando la consulta y análisis de grandes volúmenes de datos de una manera más eficiente y visual (Bartolín, 2013).

ArcMAP es la herramienta que se utilizó para visualizar y manejar información geográfica, esta cuenta con una arquitectura extensible mediante la cual pueden añadirse nuevas funcionalidades (Olaya, 2014).

Primeramente, se realizó la incorporación de la información gráfica mediante la conversión del documento CAD en un archivo shapefile (SHP); generándose entidades vectoriales de puntos, líneas y polígonos que constituyen la red, este tipo de archivo son editables a través de extensiones propias del programa. En la tabla de atributos se agregaron nuevas columnas que incluyan datos de diámetro, material, etc. (González & Bejarano, 2019). Por último, se realizó un análisis topológico de la red de tuberías mediante la herramienta Arc Toolbox - Topology; este análisis verifica que los tramos de tubería no estén desconectados por errores de trazado (Mendoza & Sanchez, 2021). En la Ilustración 9 se presenta la red de tuberías y los medidores en su posición geográfica de emplazamiento, en el software ArcMAP.

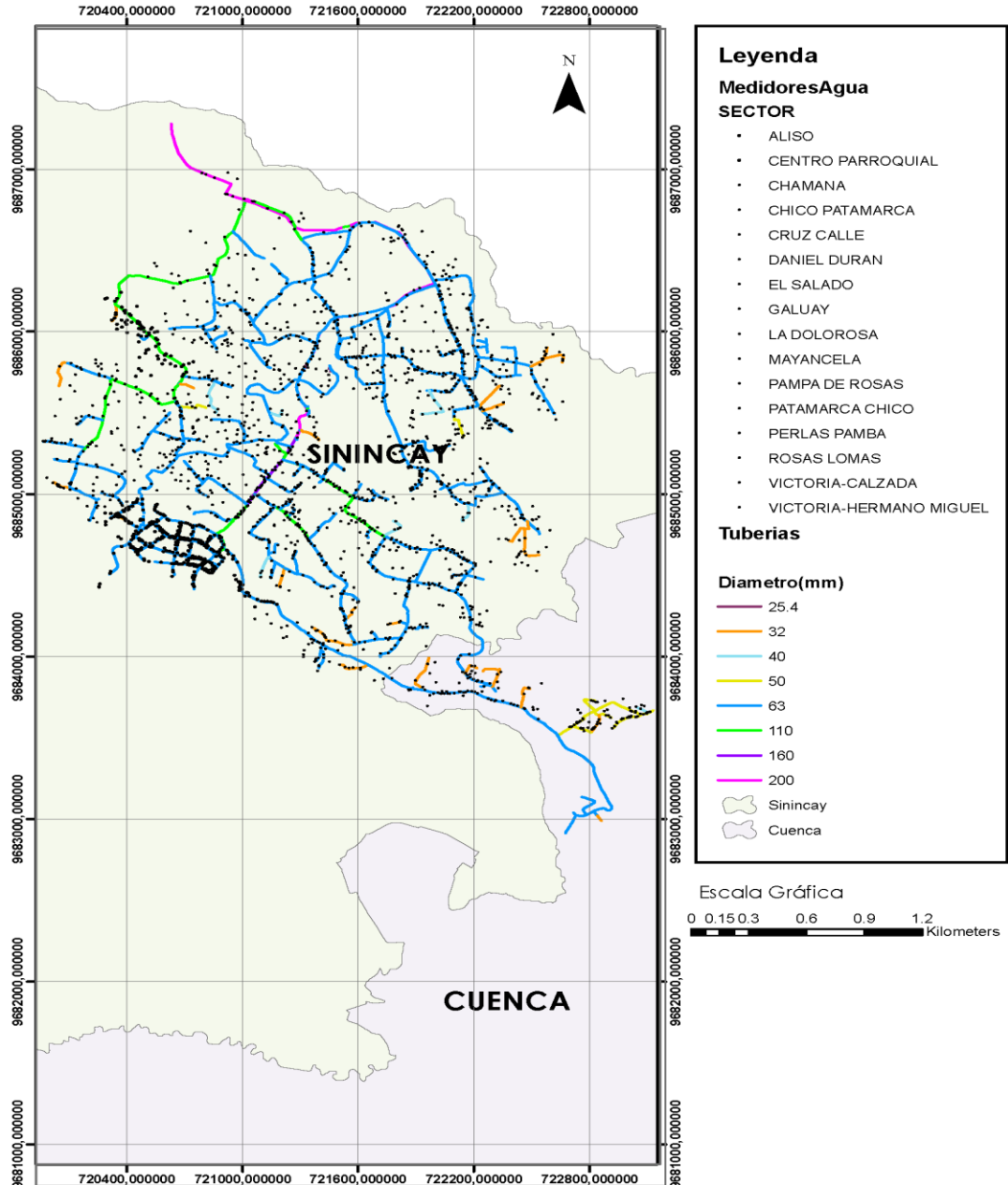


Ilustración 8 Red de distribución Sinincay ArcGIS.
Fuente: Elaboración propia

3.3.6. Distribución Espacial de Medidores

La distribución espacial de los medidores se realiza mediante la herramienta Arc Toolbox creando polígonos de Thiessen y asociando los medidores que pertenecen a una misma comunidad. De acuerdo a (González & Bejarano, 2019) con información georreferenciada de los servicios instalados y del consumo, es factible analizar la distribución espacial de diversos fenómenos y procesos, como el cálculo de densidades, estimación del consumo promedio, distribución espacial de servicios por categorías,

entre otros. En la Ilustración 10 se presenta a que sector pertenece cada medidor en relación a los polígonos de Thiessen.

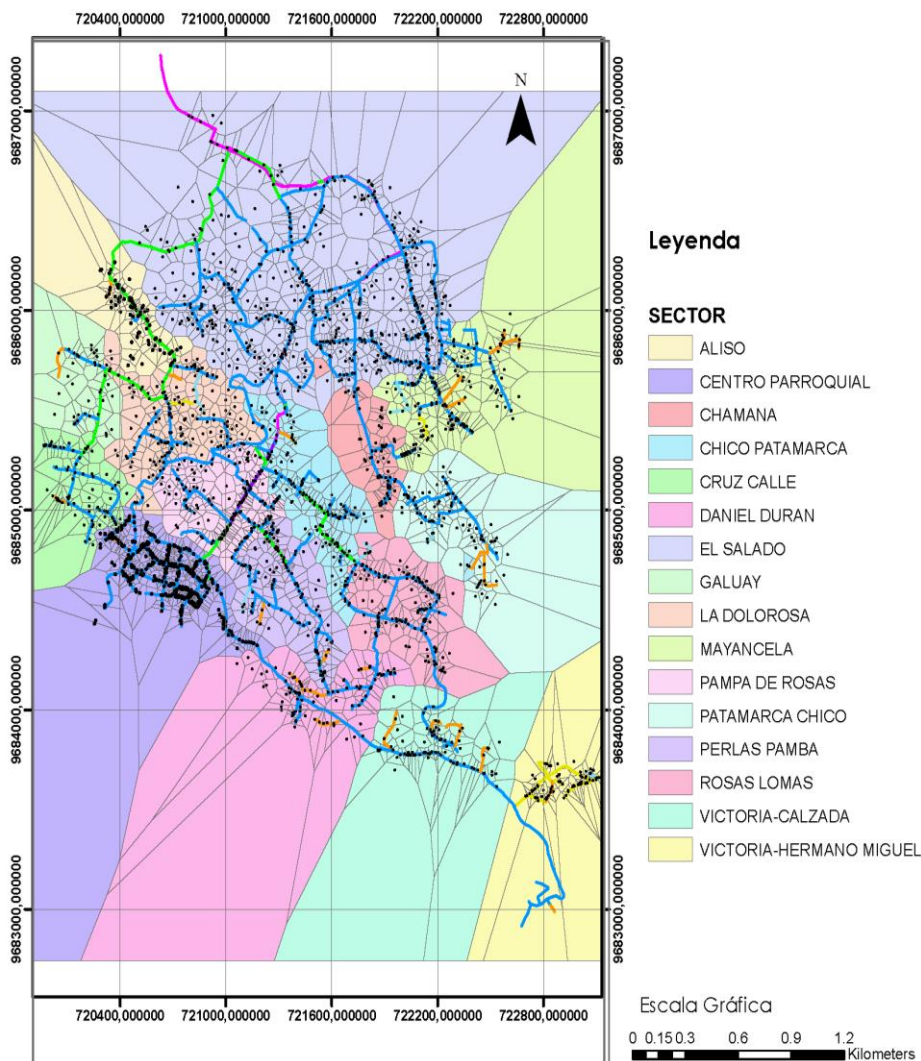


Ilustración 9 Polígonos de Thiessen.
Fuente: Elaboración propia

3.3.7. Sectorización del Sistema de Distribución.

La sectorización del sistema de distribución, que consiste básicamente en dividir la red en diversos sectores hidráulicos de menor tamaño, cuyas entradas y salidas de agua estén perfectamente controladas (Bartolín, 2013).

3.3.7.1. Discriminación de la red primaria.

Se identificó la red primaria, empleando como criterio el diámetro de las tuberías. Luego se discriminó esta red y se identificaron los ramales con un nivel de servicio secundario para definir subáreas de análisis. (Campbell Gonzalez, 2013)

3.3.7.2. Determinación del número de sectores.

Teniendo en cuenta las características de la RDAP, se realizó el análisis considerando indicadores como: topografía, densidad poblacional y dispersión poblacional. Lográndose con esta técnica obtener sectores que conserven características internas lo más homogéneas posible.

3.3.7.3. Subdivisión de la RDAP en subsectores.

Finalmente, se procedió a subdividir la red de distribución con el propósito de gestionar la operación del sistema de distribución estableciendo puntos de control que permitan controlar la entrada y la salida de agua de cada subsector. En la Ilustración 11, Ilustración 12 e Ilustración 13 se presentan los diferentes subsectores de cada una de las zonas que comprenden Sinincay, de los cuales se tienen un total de 22 subsectores distribuidos entre los 3 sectores, como se observa en la Tabla 18.

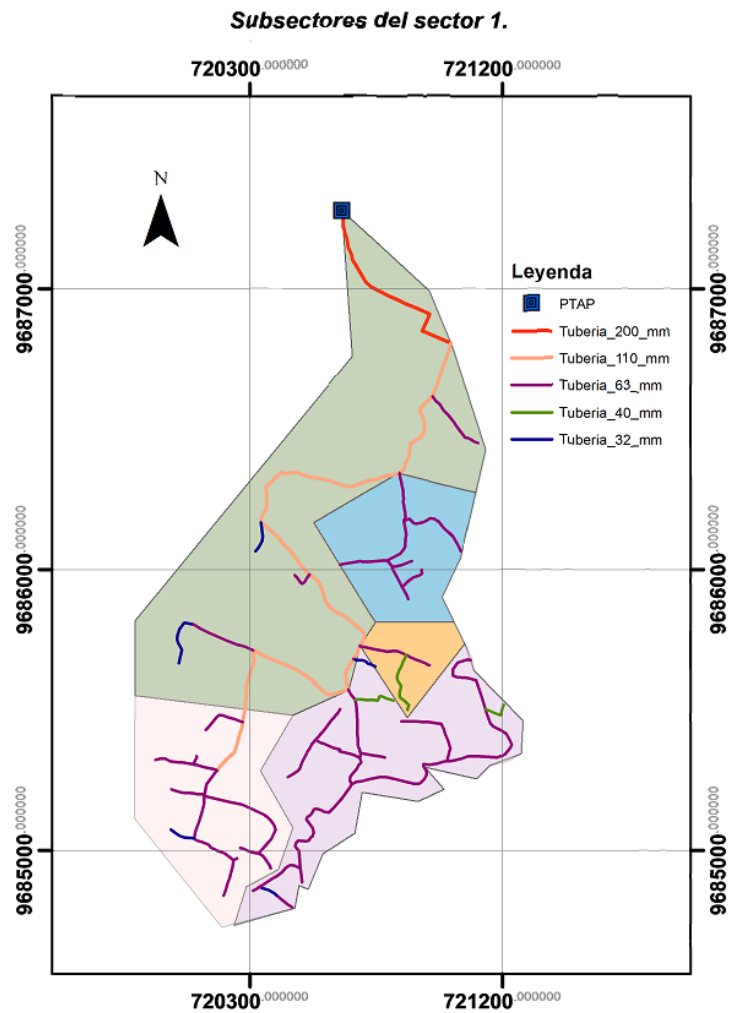


Ilustración 10. Subsectores: Zona I

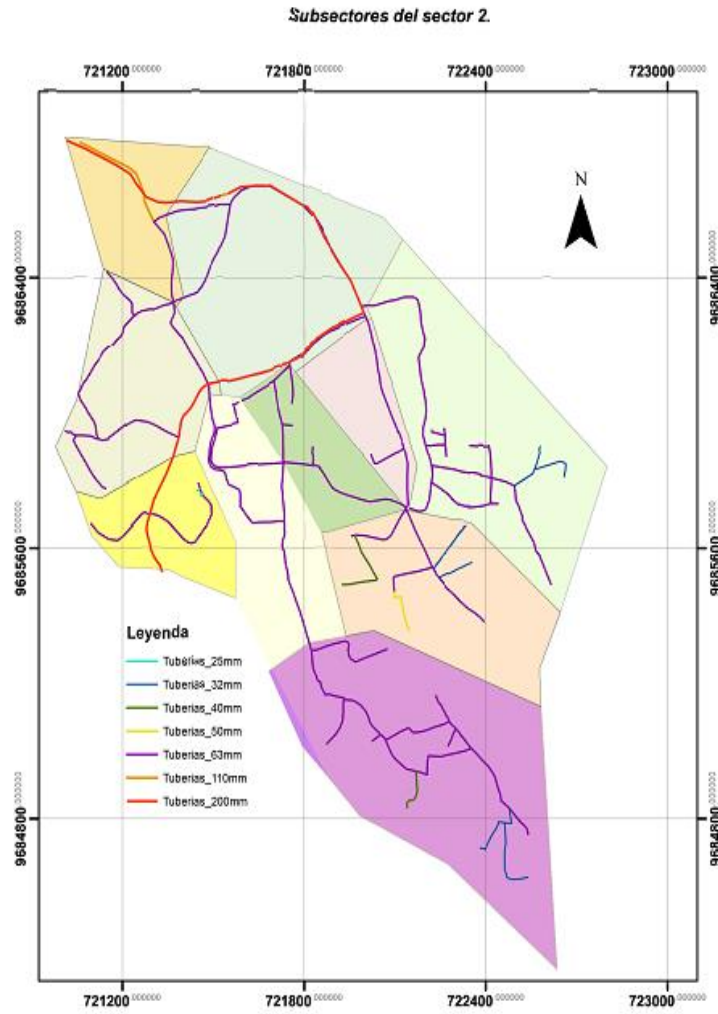


Ilustración 11. Subsectores: Zona 2

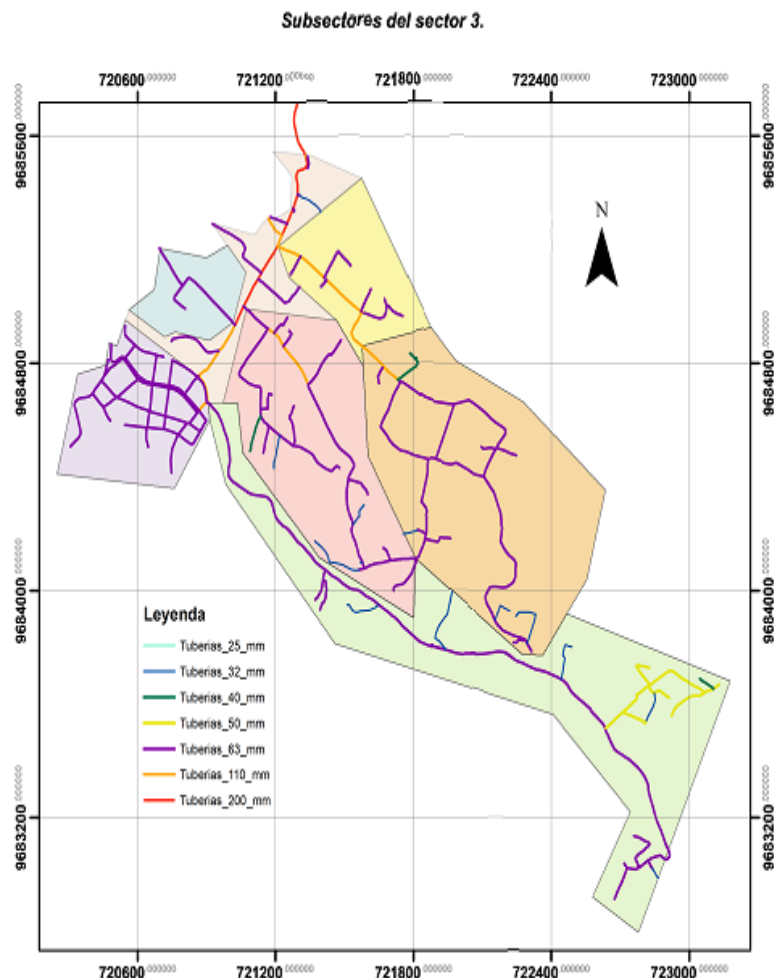


Ilustración 12. Subsectores: Zona 3

Subdivisión de la RDAP en subsectores	
Subsistema	número de subsectores
1	5
2	10
3	7

Tabla 18. Subsectores de la RDAP Sinincay

3.3.8. Codificación de las Tuberías

Tras mejorar el criterio visual de la información, se efectuó la codificación de las tuberías, en base al nivel de servicio que atiende y la zona a la que pertenece cada una; ya sea, una tubería matriz (M), principal (P) o secundaria (S) perteneciente a la zona de menor demanda (Z1), zona de demanda intermedia (Z2) y zona de mayor demanda (Z3) según corresponda. En la Tabla 19 se presenta la clasificación y la interpretación de la codificación de las tuberías, en base a la nomenclatura impuesta.

Nomenclatura	Tubería
M	<i>Matriz</i>
P	<i>Principal</i>
S	<i>Secundaria</i>
T	<i>Ramal</i>
PI(Z1)	<i>Primer tramo de la tubería Principal perteneciente a la Zona uno</i>
S2P8(Z2)	<i>Segundo tramo de la tubería Secundaria que deriva del octavo tramo de la tubería Principal perteneciente a la Zona dos</i>
SIT2P5(Z1)	<i>Segundo Ramal del primer tramo de tubería Secundaria que deriva del quinto tramo de tubería Principal perteneciente a la Zona I</i>

Tabla 19 Nomenclatura de codificación

Posteriormente se requirió asignar los consumos en los nudos extremos finales de cada tramo de tubería, entonces fue necesario crear una correspondencia entre medidor y tramo de tubería. Adicionalmente, se verificó el sentido de flujo de cada tubería para evitar que varios medidores confluyan en el nudo equivocado y no representen el sentido real de flujo, esto se logra mediante la extensión Editor – Edit Vertices. En la Ilustración 14 se observa la red de tuberías en el programa EPANET, teniendo cada tubería su etiqueta con la nomenclatura de la codificación impuesta.

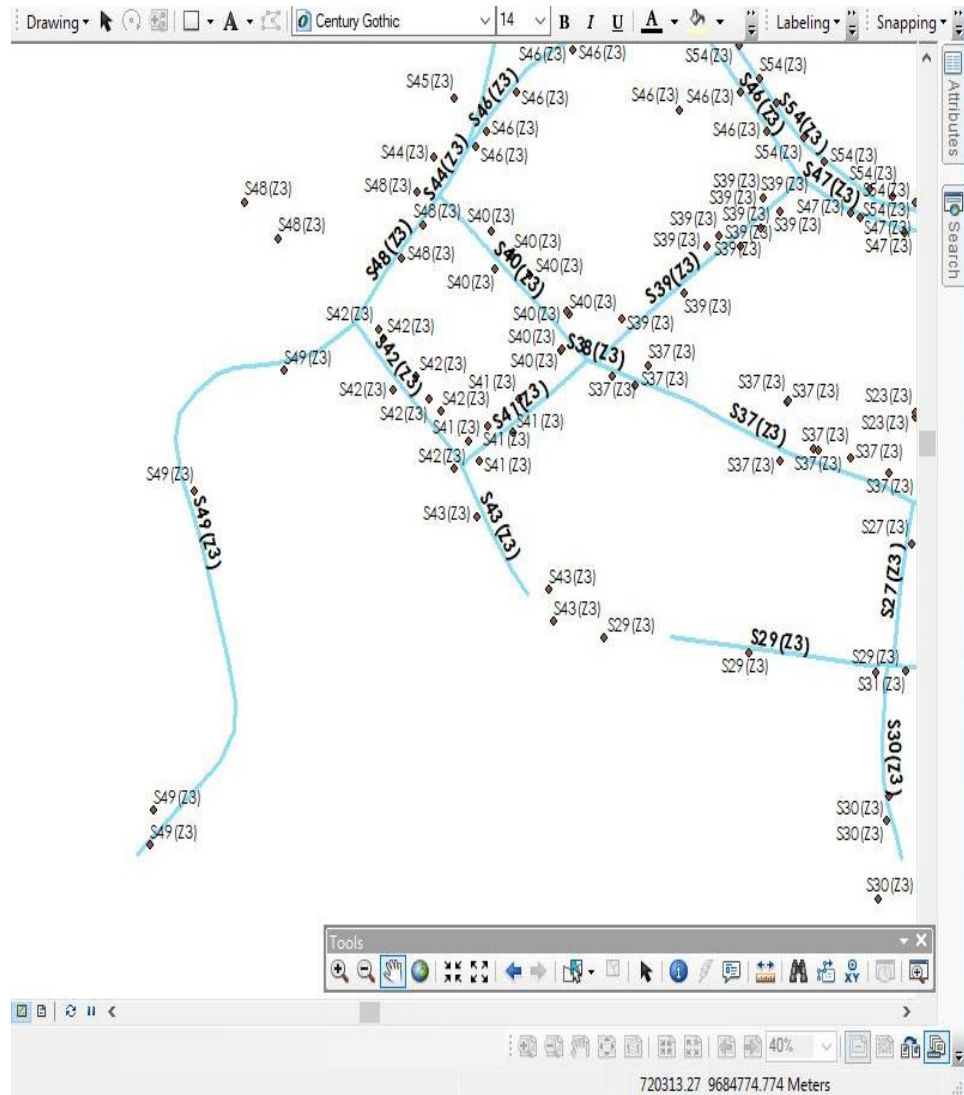


Ilustración 13 Correspondencia nudo – medidor de un tramo de tubería. ArcGIS.
Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la construcción del SIG, se obtuvieron los datos de entrada necesarios para la simulación hidráulica, como lo son las elevaciones y la demanda base (valor de caudal que está en función del escenario a analizar) véase en la ilustración 15. Así mismo se visualiza en la ilustración 16 que la tabla de atributos de las tuberías guarda las longitudes y diámetros de todos los tramos que componen la red, facilitando el proceso al momento de cargar los datos; los cuales fueron exportados a una hoja de cálculo en Excel para posteriormente ser asignados a un escenario (*fichero con extensión inp*).

Table

MedidoresAgua

CODE	N	E	Z	NOMBRES	SECTOR	V prom m3	Q prom L	CodeTub
1121	9684634.791	720333.9102	2724.1103	SINCHI HERMINIO	CENTRO PARROQUIAL	27.25	0.010513	S49(Z3)
1122	9684510.515	720314.3931	2723.97	TENESACA QUIZHPI MIGUEL ANGEL	CENTRO PARROQUIAL	14.5	0.005594	S49(Z3)
1125	9684676.755	720373.6855	2724.0738	GUIRACOCHA GUIRACOCHA MARIA EUGENIA	CENTRO PARROQUIAL	1.25	0.000482	S49(Z3)
112110	9684522.701	720315.828	2703.364	CASTILLO POMAQUIZA DARIO	CENTRO PARROQUIAL	3	0.001157	S49(Z3)

(4 out of 2306 Selected)

MedidoresAgua



Ilustración 14 Tabla de atributos medidor. ArcGIS
Fuente: Elaboración propia

Code	3DLength	StartPoint	EndPoint	FID	Code	Zona	Diametro(mm)
S49(Z3)	263.480638	2706.578	2703.928	167	S49(Z3)	(Z3)	63
S42(Z3)	68.773755	2706.578	2709.27	168	S42(Z3)	(Z3)	63
S48(Z3)	57.68907	2705.508	2706.578	169	S48(Z3)	(Z3)	63
S43(Z3)	53.880209	2709.27	2706.939	171	S43(Z3)	(Z3)	63
S41(Z3)	66.769429	2707.754	2709.27	172	S41(Z3)	(Z3)	63

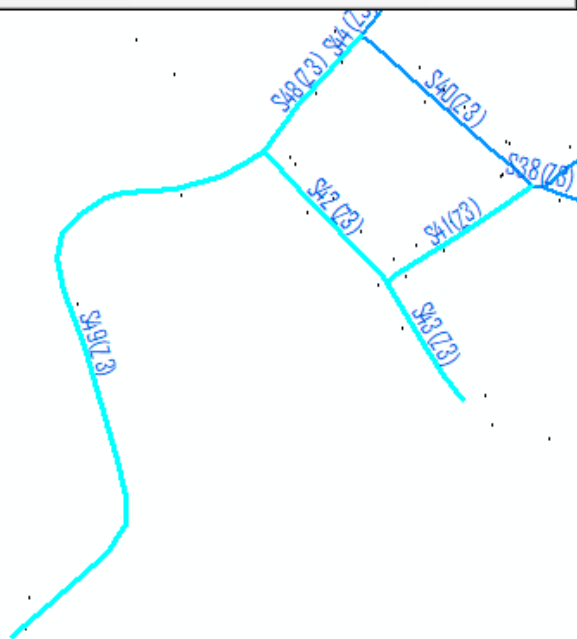


Ilustración 15. Tabla de atributos de los tramos de tubería. ArcGIS
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se editaron los parámetros hidráulicos correspondientes a los componentes físicos no editados en el fichero (válvulas, depósitos, embalse); proceso que se realizó mediante la interfaz de EPANET, permitiendo que el modelo se aproxime a la realidad operacional del sistema de distribución. En la Ilustración 17 se observan las propiedades asignadas para cada nudo (demanda de caudal) y los diámetros de la tubería para el modelado de la RDAP.

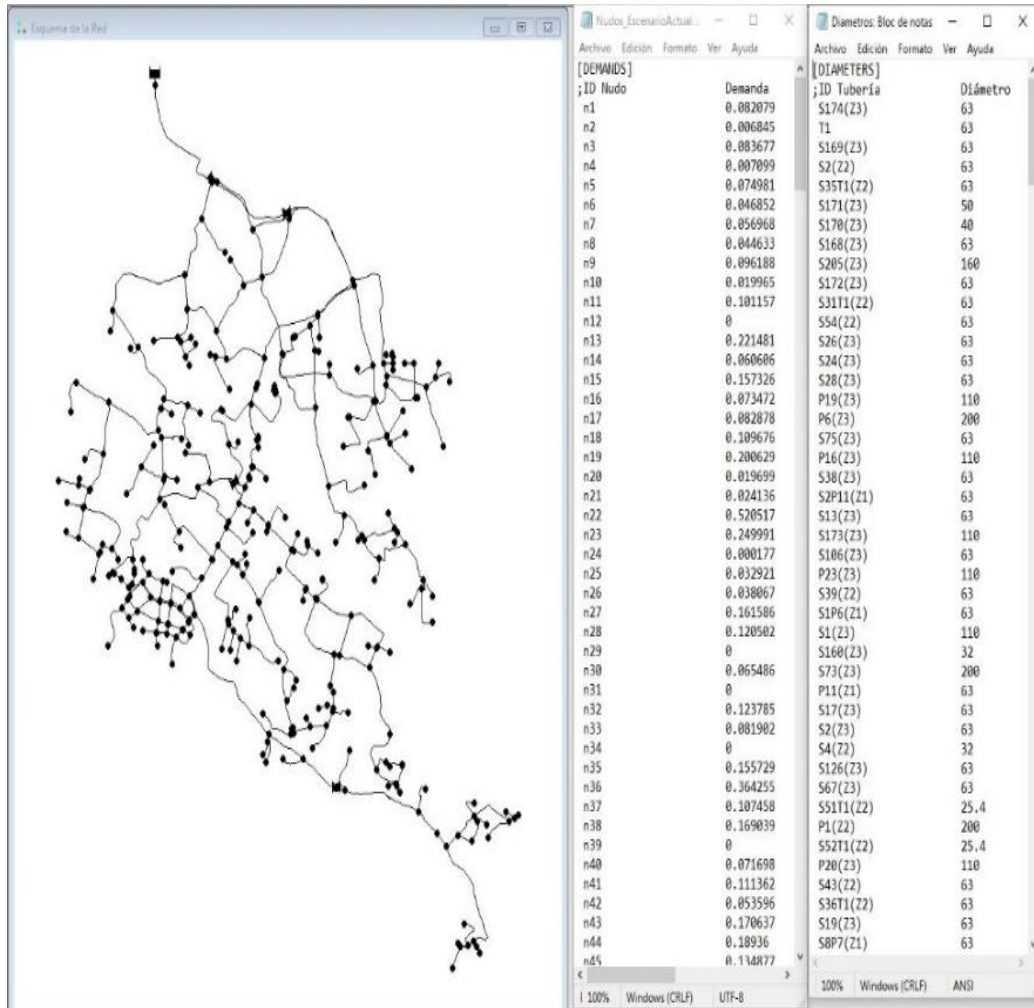


Ilustración 16 Interfaz y Escenario Epanet.
Fuente: Elaboración Propia

3.4. Análisis hidráulico del sistema actual mediante modelo numérico

El valor de la demanda base correspondiente a cada nudo del sistema actual se tomó en función del caudal máximo horario y el caudal de incendio, en caso de que el nudo represente un hidrante. El valor del caudal máximo horario a su vez está en función del valor de consumo registrado por los usuarios que confluyen en un mismo nudo, el factor de fugas y el coeficiente de mayoración horaria. Ante la falta de estudios existentes, el valor del coeficiente de mayoración horaria (KMH) y el valor del factor de fugas (f) se tomó de acuerdo a los “Estudios y Diseños Finales de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca (Ecuador) II ETAPA”, tal como se detalla en la Tabla 20.

Nomenclatura	Valor
KMH	1.82
f	25%

Tabla 20 Coeficientes. Escenario actual.
Fuente: (ETAPA EP, 2004)

3.5. Rediseño y análisis de escenarios de flujo con modelo numérico.

El valor de la demanda base correspondiente a cada nudo de la red futura se tomó en función del caudal máximo horario mayorado y el caudal de incendio respecto a la población proyectada, en caso de que el nudo represente un hidrante.

El valor del caudal máximo horario mayorado por medidor a su vez depende de los siguientes valores: la dotación, el factor de fugas, el coeficiente de mayoración horaria y el factor de mayoración, es importante considerar que los valores de caudal de los medidores que confluyen en un mismo nudo se suman. Se consideraron tres escenarios de análisis (A, B y C) que se detallan a continuación, considerando que cada escenario obedece a una normativa específica donde se establecen los valores de la dotación, el factor de fugas y coeficiente de mayoración horaria. Las ecuaciones 6, 7 y 8 fueron utilizadas para el cálculo del caudal máximo horario, caudal máximo horario mayorado y los factores de mayoración respectivamente.

Escenario A

De acuerdo a la NORMA CO 10.7-602, el Código Ecuatoriano de la Construcción recomienda su aplicación en zonas rurales (Tabla 3).

Escenario B

De acuerdo a los “Estudios y Diseños Finales de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca (Ecuador) II ETAPA” (Tabla 5).

Escenario C

De acuerdo a la NORMA CO 10.7-601, el Código Ecuatoriano de la Construcción recomienda su aplicación para poblaciones mayores a 1000 habitantes (Tabla 4).

En la tabla 21 se resumen los coeficientes correspondientes a cada escenario.

	Norma		
	CO 10.07- 602	ETAPA EP	CO 10.07 – 601
	Escenarios		
	A	B	C
Dotación neta (L/hab/día)	75	118 / 150	-
Factor de fugas (f %)	1.20	1.25	*
Dotación bruta (L/hab/día)	90	150 / 200	205
Coeficiente de Mayoración Horario (KMH)	3	1.82	2.3

Tabla 21. Coeficientes para escenarios de diseño a futuro
Fuente: Elaboración propia

3.6. Consumos Registrados

Los consumos registrados por los usuarios se han clasificado en tres clases; la primera clase corresponde a los usuarios que no presentan consumo; en la segunda clase se encuentran los consumos que no exceden el valor límite de dotación bruta establecido por la NORMA CO 10.7-601, para este tipo de zonas la dotación bruta tiene un valor de 220 L/hab/día, la cual se multiplicó por el valor promedio de número de personas por hogar de 3.82, la cantidad resultante da un valor de caudal de L/medidor/día que al convertir en unidades de L/medidor/s resulta un valor límite de 0.00968 Litros/medidor/segundo; y la tercera clase corresponde a los consumos que exceden este valor referencial.

3.7. Volúmenes de Reserva

Para el cálculo del volumen de reserva se tomó la NORMA CO 10.7-601, el Código Ecuatoriano de la Construcción recomienda su aplicación para poblaciones mayores a 1000 habitantes en el que se establece que, el volumen de regulación sea el 25% del volumen consumido en un día, considerando la demanda media diaria al final del periodo de diseño.

4. RESULTADOS y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros de diseño.

4.1.1. Proyección poblacional.

Debido a la cercanía de la parroquia Sinincay a la ciudad de Cuenca y de disponer de pocos puntos censales en el tiempo, se consideró más conservador el uso del método geométrico. En el anexo 3 y 4 se exponen a detalle los resultados calculados por el método aritmético y método geométrico

La Tabla 23 resume la población proyectada por quinquenios para la parroquia Sinincay, los cálculos de los caudales de diseño, se basaron en estas proyecciones de población. La población que se determinó para el final del período de diseño dentro de 25 años corresponde a 19.640 habitantes.

Intervalo de año.	P(n)/P(o)	"rg"	Promedio "r"
1990-2001	0.84	-1.58	0.48
2001-2010	1.25	2.54	

Tabla 22 Cálculo de la tasa de crecimiento geométrico.

Año	1990	2001	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Población	15069	15889	16593	16998	17412	17837	18271	18717	19173	19640	20119

Tabla 23 Proyección geométrica de la parroquia Sinincay hasta el año 2050.

En la ilustración 18 se observa la proyección de crecimiento de la población de Sinincay respecto a sus datos censales.

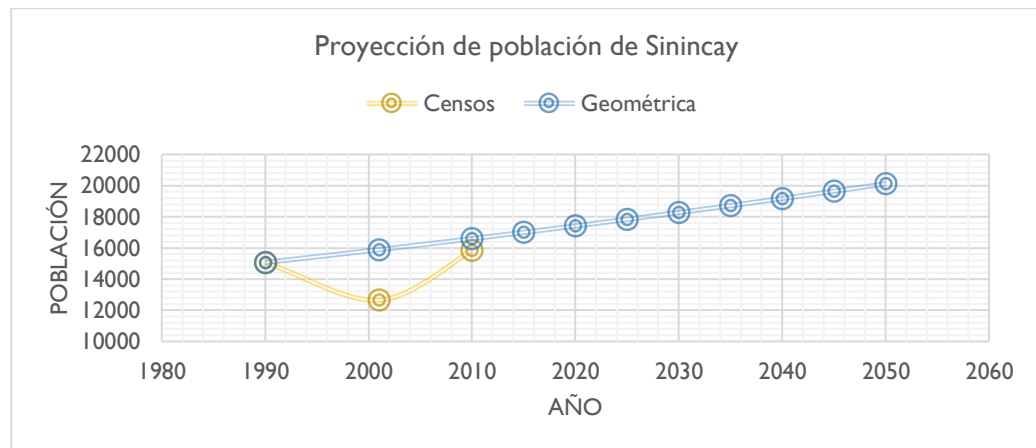


Ilustración 17 Proyección poblacional: Método geométrico

4.1.2. Cálculo de Caudales

4.1.2.1. Escenario Actual

En la Tabla 24 se observan los valores correspondientes al volumen mensual de consumo, al caudal de consumo diario, al caudal medio diario y al caudal máximo horario de los subsistemas que conforman la red de distribución en su estado actual, se identificó

que la Zona 1 es la que registra menor consumo, la Zona 2 registra el consumo intermedio y la Zona 3 es la que mayor demanda requiere. La suma de los caudales máximos horarios de cada zona da como resultado un valor de caudal máximo horario en la RDAP de 27.87 L/s,

Zonas	Volumen promedio V(m ³ /mes)	Caudal de Consumo Diario Qd(L/s)	Caudal Medio Diario Qmd(L/s)	Caudal Máximo Horario QMH(L/s)
(Z1)	5738.04	2.21	2.88	5.24
(Z2)	7761.66	2.99	3.89	7.08
(Z3)	17039.52	6.57	8.55	15.55
Total	30616.29	11.81	15.36	27.87

*Tabla 24. Caudales Escenario Actual
Fuente: Elaboración propia*

4.1.2.2. Escenarios en el año 2045

En la Tabla 25 se presenta el cálculo de los valores de caudal medio diario y caudal máximo horario por medidor en base a las diferentes normativas, se identifica que los valores de caudal máximo horario son 0.0118 L/s/medidor, 0.01437 L/s/medidor y 0.02074 L/s/medidor para los escenarios A, B y C respectivamente. De los cuales, el escenario C es el más desfavorable, entonces el caudal máximo horario por medidor es mayor al utilizar los coeficientes de la *norma CO 10.07 – 601*.

	Norma		
	CO 10.07– 602	ETAPA EP	CO 10.07 – 601
	Escenarios		
	A	B	C
Dotación neta (L/hab/día)	75	118	-
Factor de fugas (f %)	1.20	1.25	-
Dotación bruta (L/hab/día)	90	150	205
Caudal Medio Diario Qmd(L/s)	0.00395	0.00615	0.00902
Coficiente de Mayoración Horario (KMH)	3	1.82	2.3
Caudal Máximo Horario QMH(L/s/medidor)	0.01188	0.014137	0.02074

*Tabla 25. Valores de caudal para un medidor considerando escenarios de diseño a futuro
Fuente: Elaboración propia*

En la Tabla 26 se observan los valores de los factores de mayoración correspondientes a cada sector. Los sectores Cruz Calle, Mayancela y Galuay son los que presentan un mayor crecimiento poblacional, en consecuencia, sus factores mayoran las demandas utilizando coeficientes más altos. También, se presentan los factores de mayoración corregidos FMc en base a las consideraciones expuestas en el marco teórico.

SECTOR	FM	FMc
ALISO	1.05	1.05
CENTRO PARROQUIAL	0.58	1.00
CHICO PATAMARCA	0.57	1.00

CRUZ CALLE	1.22	1.22
EL SALADO	0.54	1.00
GALUAY	1.89	1.89
LA DOLOROSA	0.97	1.00
PAMPA DE ROSAS	0.67	1.00
CHAMANA	0.75	1.00
MAYANCELA	1.55	1.55
ROSAS LOMAS	1.10	1.10
PERLAS PAMBA	0.73	1.00
VICTORIA-CALZADA	0.51	1.00
VICTORIA-HERMANO MIGUEL	0.59	1.00
DANIEL DURAN	0.54	1.00
VICTORIA EL TABLON	0.59	1.00

*Tabla 26. Factores de Mayoración por Sector
Fuente: Elaboración propia*

En la Tabla 27 se presentan los valores del caudal máximo horario mayorado correspondientes a los diferentes subsistemas que conforman la red de distribución. Se identifica que en los escenarios A, B y C los valores del caudal máximo horario mayorado exceden con 2.99 L/s, 5,21 L/s y 26.07 L/s al valor de caudal máximo horario actual respectivamente; siendo el escenario C el más desfavorable y a considerarse para el análisis del escenario futuro. La suma de los caudales máximos horarios de cada subsistema en el escenario C da como resultado un valor de caudal máximo horario mayorado en la red de 54.02 L/s.

Subsistema	Caudal Máximo Horario Mayorado (L/s)		
	Escenario		
	A	B	C
(Z1)	8.14	8.50	14.22
(Z2)	7.97	8.14	13.92
(Z3)	14.70	16.41	25.67
Total	30.94	33.16	54.02

*Tabla 27. Caudal Máximo Horario Mayorado
Fuente: Elaboración propia*

4.1.3. Volúmenes de reserva

En la Tabla 28 se resumen los valores del volumen de reserva requeridos de acuerdo a la NORMA CO 10.7-601 con respecto a la capacidad que presentan los tanques para los diferentes subsistemas que conforman la red de distribución. Se identifica que en el escenario actual la capacidad de almacenamiento es mayor al volumen de reserva requerido. Por otra parte, en el escenario futuro los valores de volumen requerido exceden a la capacidad de los tanques construidos en los Subsistemas 1 y 2 con 268 m³ y 254 m³ respectivamente; mientras que, en el Zona 3 la capacidad de almacenamiento de los tanques es mayor al volumen requerido con 45 m³. esto significa que se requiere construir una reserva aproximadamente de 600 m³ distribuidos entre la Zona 1 y 2 para abastecer a la población en un futuro.

	Actual			Futuro		
	Cantidad de Tanques	Volumen Requerido (m ³)	Capacidad Existente (m ³)	Volumen Sobrante (m ³)	Volumen Requerido (m ³)	Capacidad a Construir (m ³)
Planta	1	-	400	-	-	-
Zona 1	0	311.04	0	88.96	667.708	-267.708
Zona 2	2	420.12	400	-20.12	653.806	-253.806
Zona 3	5	923.4	1250	326.60	1205.540	44.460
Total	8	1654.56	2050	395.44	2527.054	-477.054

Tabla 28. Volúmenes de Reserva para el escenario actual y escenario futuro

4.2. Modelización Hidráulica

4.2.1. Escenario Actual

Después de compilar el modelo hidráulico de la red de distribución a través del paquete computacional Epanet 2.0, se obtuvieron los resultados generados para cada elemento que compone el sistema de distribución.

Con respecto a los nudos, los valores de presión en la red se han clasificado dentro de rangos de valores, con un color específico por rango, siendo de color verde oscuro aquellas presiones en la red que son iguales o están por debajo de los 10 metros de columna de agua; de color celeste las presiones que superan el valor de 10 mca y están por debajo de los 50 mca; de color azul las presiones que superan el valor de 50 mca y están por debajo de los 70 mca; de color rosa las presiones que superan el valor de 70 mca y están por debajo de los 100 mca y de color rojo aquellas presiones que superan el valor de 100 mca (véase en la ilustración 19).

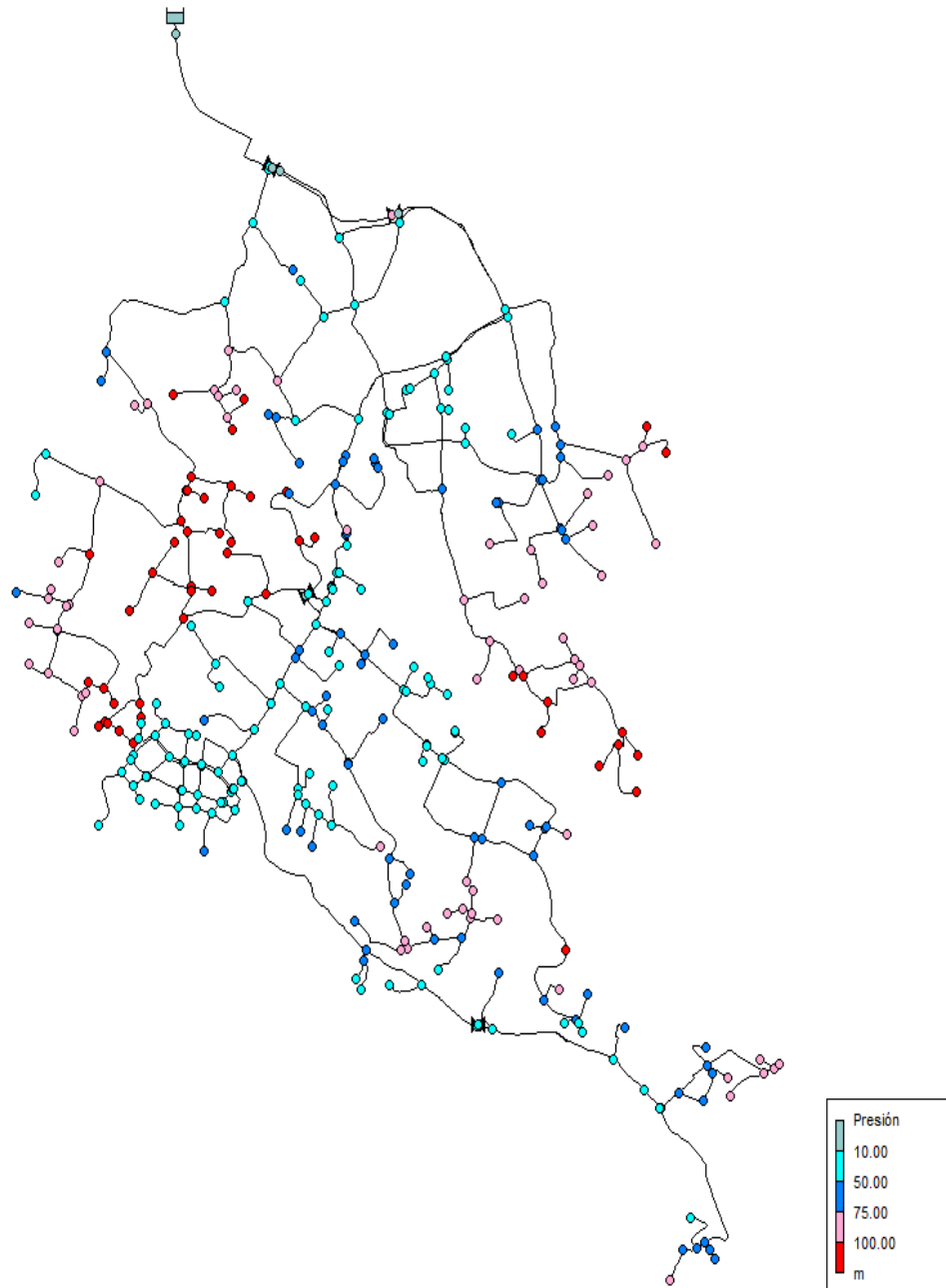


Ilustración 18. Presión de los nudos en la RDAP de Sinincay

De la misma manera la velocidad en los tramos de tubería se ha clasificado dentro de rangos de valores, con un color específico por rango, siendo de color rosa aquellos tramos de tubería donde no se genera autolimpieza, es decir la velocidad es menor a 0.3 m/s; de color celeste los tramos de tubería donde la autolimpieza es aceptable, es decir las velocidades superan el valor de 0.3 m/s y están por debajo de los 0.5 m/s; de color azul los tramos de tubería donde la velocidad es óptima, es decir las velocidades superan el valor de 0.5 m/s y están por debajo de 1m/s; de color verde los tramos de tubería donde las velocidades superan el valor de 1 m/s y están por debajo de los 2 m/s y de color violeta aquellos tramos que superan el valor máximo recomendado de 2m/s según CEPIS, 2005 (véase en la ilustración 20).

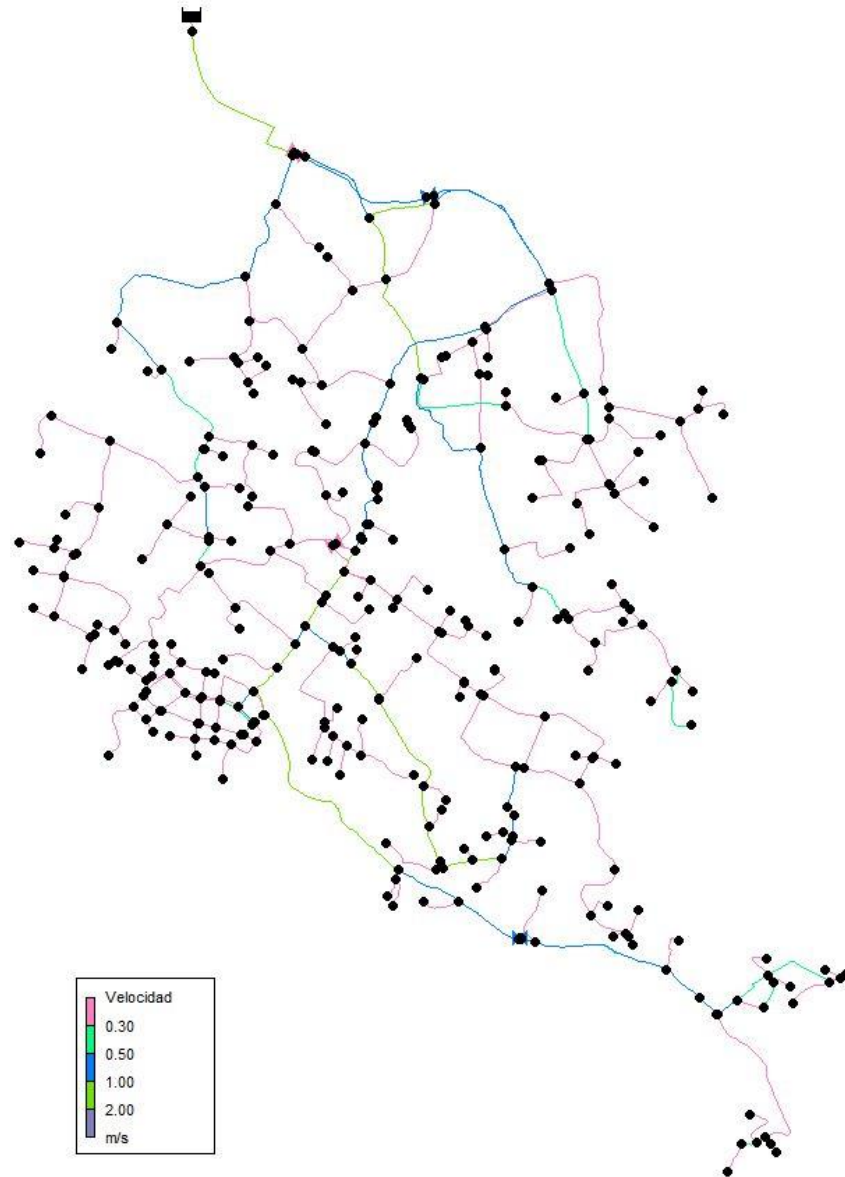


Ilustración 19. Velocidades de los tramos de tubería en la RDAP de Sinincay

4.3. Caracterización integral del proyecto en su estado actual.

A partir de los resultados obtenidos se caracterizó el sistema de distribución en su estado actual a través del análisis de los valores obtenidos de los consumos registrados, presiones y velocidades-

4.3.1. Consumos Registrados

En la ilustración 21 se resumen los porcentajes de las clases de consumos registrado; la primera clase constituye el 12% de los medidores del sistema, estas unidades no registran consumo, indicando que estas viviendas no son habitadas, se puede atribuir al fenómeno de la migración como un factor influyente; puesto que, en el censo del 2010, la parroquia Sinincay, presenta uno de los índices de migración más altos a nivel del cantón Cuenca

(PDyOT Sinincay, 2015). La segunda clase indica que el 75% de los usuarios registran un consumo dentro de los parámetros normales. Por otra parte, la tercera clase indica que el 17% de los medidores registran una lectura mayor al consumo normado, los factores influyentes se pueden atribuir a daños en los medidores, fugas domiciliarias, al uso del agua potable destinado a actividades agrícolas y la falta de políticas ante el incumplimiento de pago de la tarifa de castigo impuesta a los usuarios que exceden el consumo mensual base.

Rango (L/s)	Frecuencia	Porcentaje
0	270	12%
0.00001-0.00968	1722	75%
0.00968-0.17583	314	14%

Tabla 29. Análisis de los Consumos Registrados
Fuente: Elaboración propia

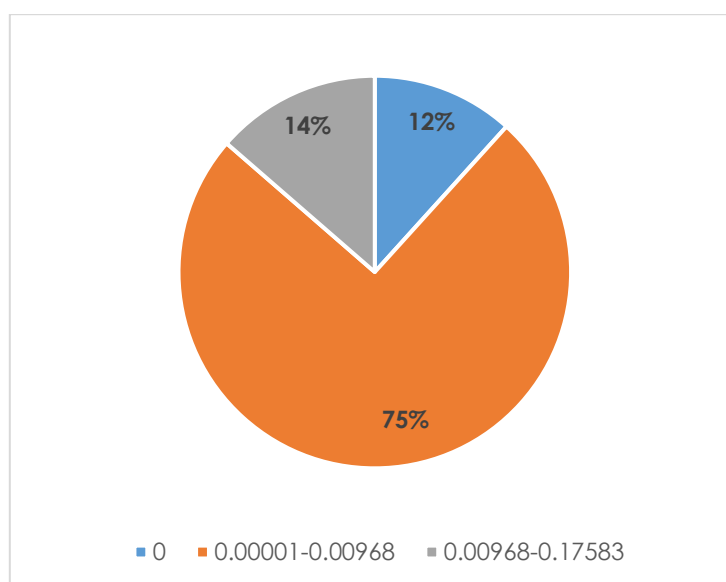


Ilustración 20. Clases de consumos

4.3.2. Presiones

El análisis de presiones en la red se realizó por Subsistemas para facilitar la identificación de los nudos, se utilizaron gráficos tipo pastel para representar la frecuencia relativa que presentan los nudos con respecto a los rangos de valores de presión.

De acuerdo a la ilustración 23 en el subsistema 1 predominan los valores de presión mayores a los 100 mca en un porcentaje del 55%, este rango de valores puede causar deterioro de los elementos que constituyen el Subsistema y el mal funcionamiento del mismo; es importante subrayar que el personal técnico del JAAP Sinincay informó que en la zona 1 existen fugas por el exceso de presión en los ramales terminales ubicados en la parte baja. En el Subsistema 2 el 30% de los valores de presión están entre los 70 a 100 mca, valores que no son los óptimos, se puede trabajar con dichos valores; sin embargo, se recomienda que se trate de optimizarlos. Con respecto al Subsistema 3 la mayor parte de los valores de presión se encuentran dentro del rango óptimo con un 56% de valores de presión entre 10 a 50 mca y 27% de valores de presión entre 50 a 70 mca,

Adicionalmente, en la ilustración 22 se resume la frecuencia de los valores de presión de los nudos con respecto a los rangos de valores, se identificó que no hay valores con presión menor a los 10 mca en los nudos de servicio, eso significa que no se genera succión a causa de presiones negativas, también que no existen problemas por falta de presión para distribuir el agua a nivel domiciliario.

De la tabla 30, se identificó que en la red 75 nudos tienen una presión entre 70 y 100 mca; y 49 nudos tienen una presión mayor a los 100 mca, estos valores tan altos se deben a la topografía escarpada en la que está emplazada la red de distribución; así como también, a la falta de planificación del JAAP de Sinincay al realizar el tendido de la red, que más bien obedece a un método empírico para atender a las demandas en una parroquia con dispersión poblacional, evidenciándose tramos de tubería con fuertes pendientes.

Rango	Subsistema 1		Subsistema 2		Subsistema 3		Total / Red Frecuencia
	Frecuencia	F. Relativa	Frecuencia	F. Relativa	Frecuencia	F. Relativa	
0	0	0%	0	0%	0	0%	0
0 - 10	0	0%	0	0%	0	0%	0
10 - 50	4	6%	24	30%	100	56%	128
50 - 70	3	4%	22	27%	48	27%	73
70 - 100	23	35%	24	30%	28	16%	75
>100	36	55%	11	13%	2	1%	49

Tabla 30. Tabla de frecuencias de los valores de presión
Fuente: Elaboración propia

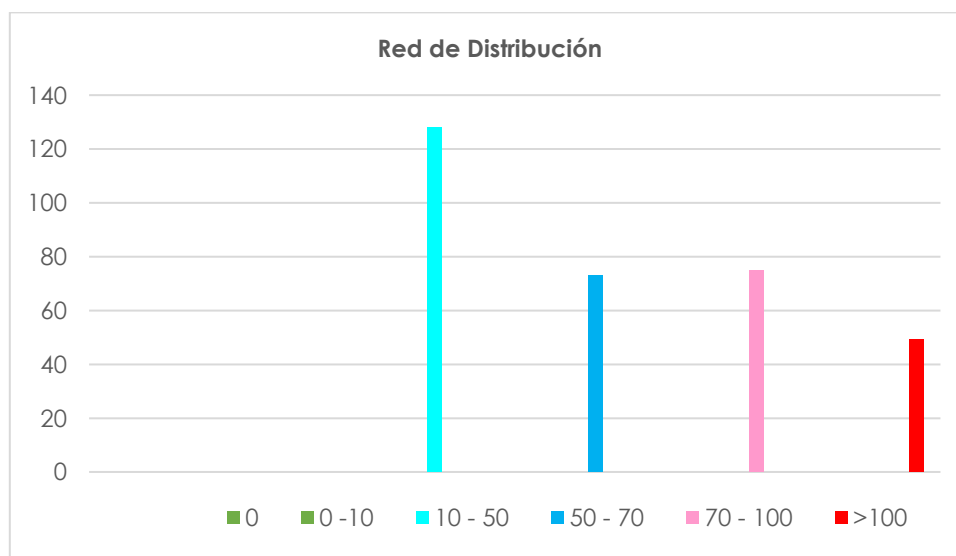


Ilustración 21. Frecuencia de valores de presión en los nudos de la RDAP

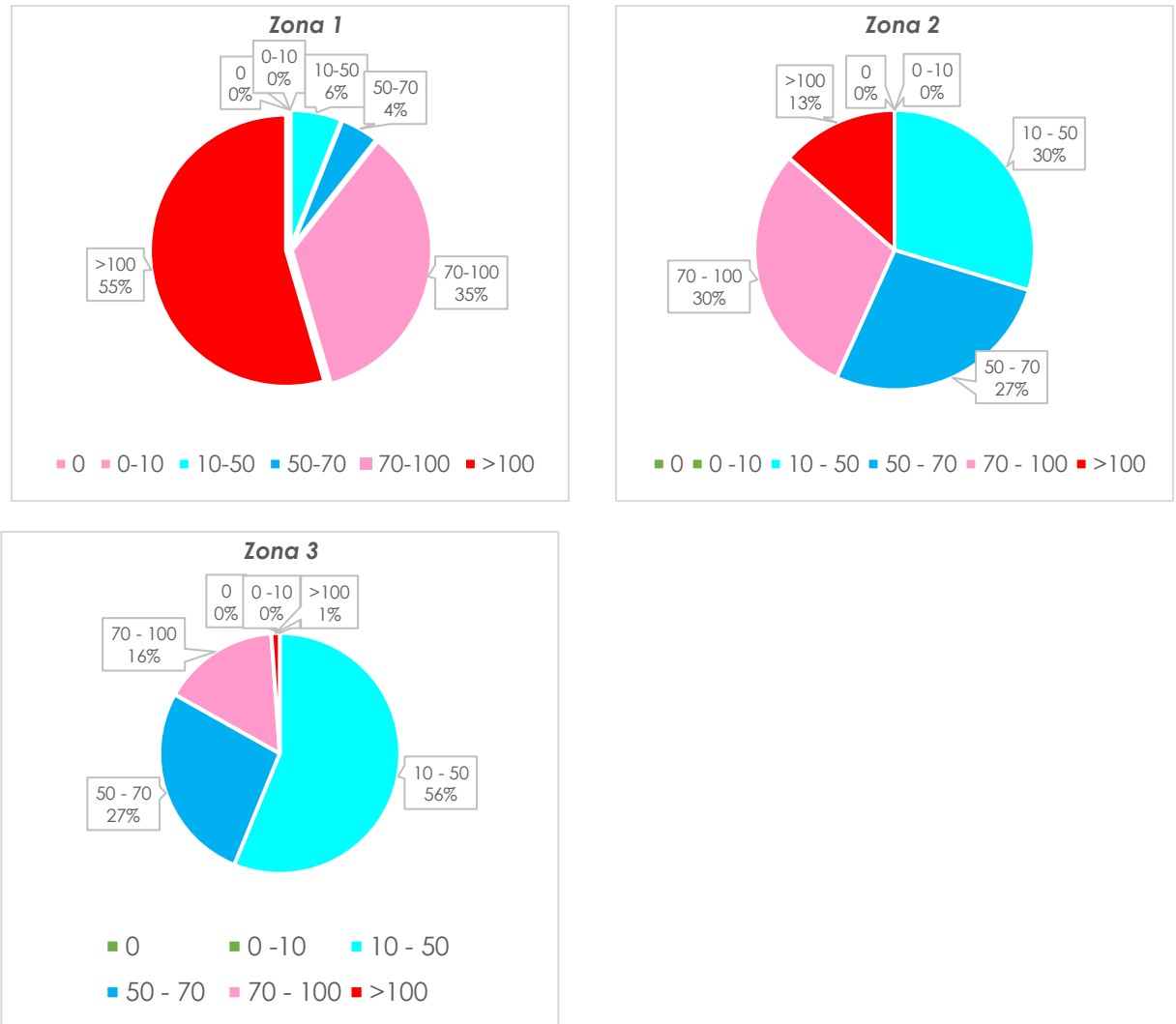


Ilustración 22. Representación gráfica de presiones en los diferentes subsistemas

4.3.3. Velocidades

El análisis de la velocidad en los tramos de tubería se realizó por Zonas para facilitar su identificación, se utilizan gráficos tipo pastel para representar la frecuencia relativa que presentan los tramos de tubería con respecto a los rangos de valores de velocidad.

En la Ilustración 24 se observa que en todos los subsistemas el rango de valores de velocidad predominante es de 0 a 0.3 m/s con un porcentaje mayor al 70%, este rango se asocia a problemas de acumulación de sedimentos en la tubería; puesto que, las velocidades bajas no son capaces de generar autolimpieza. Referente a los valores que superan el valor de 2m/s no se presentan en la red, esto es beneficioso, según (CEPIS, 2005) el valor máximo recomendado es de 2m/s. En cuanto al rango de valores de velocidad óptimos entre 0.3 m/s y 2 m/s el porcentaje es del orden del 20% en los tres subsistemas.

La velocidad en conductos a presión está en función del caudal del flujo y el área transversal de la tubería; puesto que la mayor parte de los valores de velocidad en

tramos de tubería se encuentra en el rango inferior a 0.3 m/s, se analizan estas dos variables para dar una respuesta. En cuanto al caudal, se puede decir que las demandas que circulan en los tramos de tubería ubicados en comunidades distantes a los sectores con mayor densidad poblacional como el Centro Parroquial y Aliso son mínimas debido a la dispersión poblacional que se presenta en la parroquia rural, siendo una causa para que se presenten valores bajos de velocidad. Con respecto al área, hablando en términos del diámetro de la tubería se observa en la tabla 17 correspondiente al metrado de tuberías que, el diámetro nominal predominante en la red es 63 mm con un tendido total de 37514,16 m, este tamaño de diámetro está más próximo de los tamaños mínimos; además, el personal técnico de Sinincay informó que, para extender la red en un futuro, considerar diámetros menores a los 63 mm en tramos a nivel de servicio secundario implica un riesgo, entonces el diámetro de tuberías no es una variable a considerar para dar solución al problema de los valores de velocidad.

En consecuencia, se recomienda alternativas como la disposición de válvulas de purga y operaciones de mantenimiento para evitar sedimentación en las tuberías, en el diagnóstico de la red (Tabla 16) se identificaron 17 válvulas de purga dispuestas en todo el sistema de distribución.

Rango (m/s)	Subsistema 1		Subsistema 2		Subsistema 3	
	Frecuencia	F. Relativa	Frecuencia	F. Relativa	Frecuencia	Relativa
0 - 0.3	55	82.1%	68	79.1%	141	72.7%
0.3 - 0.5	4	6.0%	7	8.1%	9	4.6%
0.5 - 1	7	10.4%	5	5.8%	29	14.9%
1-2	1	1.5%	6	7.0%	15	7.7%
>2	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%

*Tabla 31. Tabla de frecuencias de los valores de velocidad
Fuente: Elaboración propia*

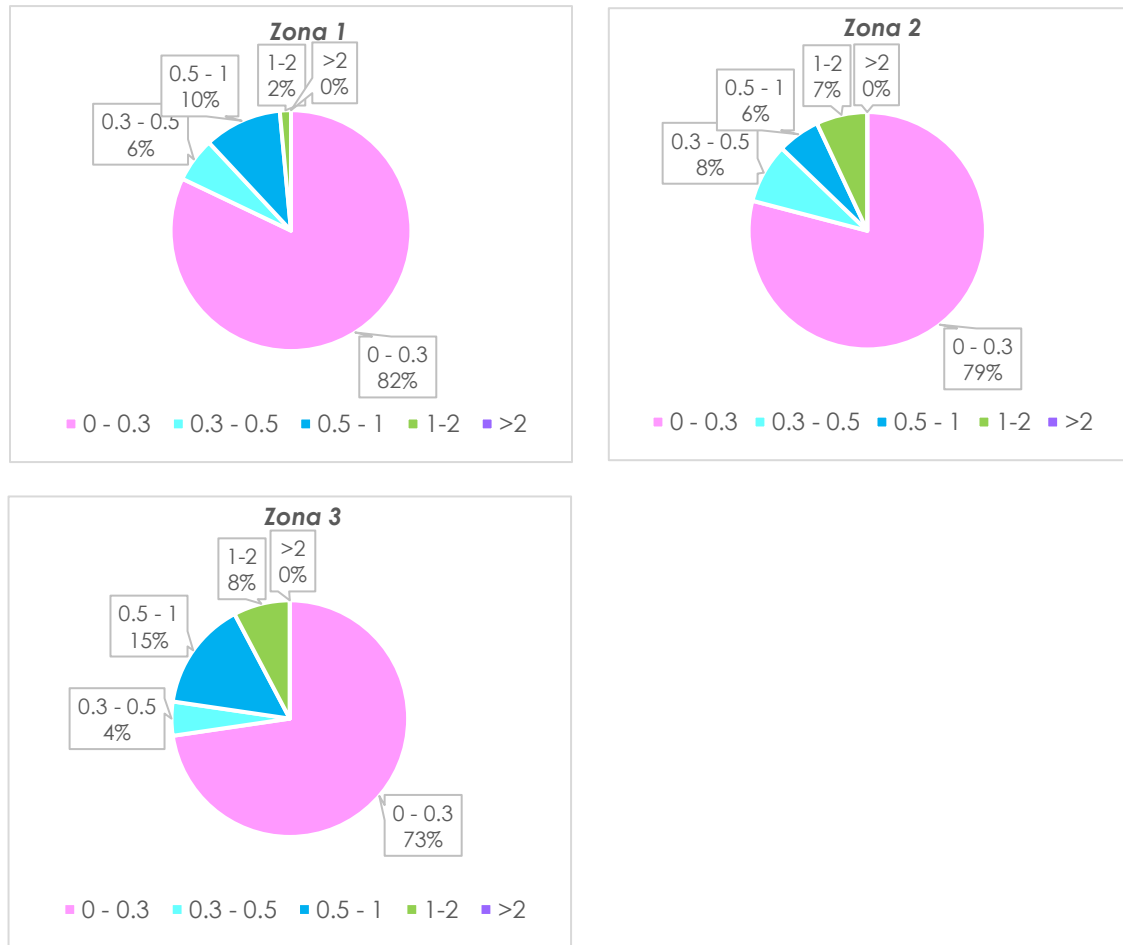


Ilustración 23. Representación gráfica de valores de velocidad en los diferentes subsistemas

4.4. Reingeniería del proyecto.

La excesiva presión que presenta el Subsistema I en sus nudos y la ratificación de un servicio deficiente en horas pico por parte del personal técnico del JAPP Sinincay fueron los criterios usados para considerar a la Zona I como el Subsistema crítico a rediseñar.

Respecto a la presión, en el software Epanet se observó que cambiar el diámetro de las tuberías no es una alternativa que permita optimizar los valores de presión, a pesar de que las pérdidas de energía son grandes al reducir el diámetro nominal; no representan una solución ante los desniveles del orden de 40 m a 50 m que se presentan entre las cotas de los nudos de la tubería primaria con respecto las cotas de los nudos correspondientes a los ramales terminales, estas diferencias de nivel son propias del Subsistema I porque está emplazado en la topografía escarpada característica en esa Zona de la parroquia; por lo que, se recomienda añadir un tanque rompe presiones como solución al problema, como puede observarse en la Ilustración 25.

Del análisis realizado del escenario actual del Subsistema I el 82% de los tramos de tubería tienen valores de velocidad inferiores a 0.3 m/s; para dar una respuesta a lo que da lugar a valores de velocidades inferiores, se analizaron las variables de caudal y área transversal; las cuales determinan la velocidad en conductos a presión cerrados.

Los caudales que circulan en los tramos de tubería son mínimos en la mayor parte de las comunidades debido a la dispersión poblacional que presentan las zonas donde está ubicado este subsistema con excepción del sector Aliso y el sector Cruz Calle colindante al Centro Parroquial, los cuales presentan una mayor concentración de la población y por ende una mayor demanda. Este aspecto sumado, a la falta de planificación en el tendido de las redes producto de un crecimiento desordenado constituyen una causa para que existan velocidades menores a los 0.3 m/s. Por lo que, se recomienda planificar un nuevo trazado de la red contemplando como criterio el análisis de crecimiento demográfico y la dispersión poblacional de los sectores que conforman la parroquia.

Con respecto al área transversal de la tubería hablando en términos del diámetro, se observa la tabla de metrado de tuberías (Tabla 17), el diámetro nominal predominante en la Zona I con un nivel de servicio secundario es 63 mm con un tendido total de 6753,41 m, los otros diámetros nominales en los tramos de tubería con un nivel de servicio secundario son de 32 mm, 40 mm y 50mm con un metrado de 521,75 m, 319,57 m y 147,94 m respectivamente; este tamaño de diámetros corresponden a los tamaños mínimos; entonces el diámetro de tuberías no es una variable que se considere cambiar para dar solución al problema de los valores de velocidad; puesto que, mientras menor sea el tamaño del diámetro nominal de tubería mayor es la velocidad de flujo.

En cuanto a las deficiencias de servicio en horas pico, el personal técnico del JAAP Sinincay informó que el problema radica en el llenado del tanque de almacenamiento de la planta, en la fase de distribución el agua que llega a la planta es transportada directamente para abastecer la demanda y llenar los tanques de almacenamiento en las zonas bajas, este proceso sumado a las excesivas pérdidas por la presencia de fugas, conexiones ilícitas, entre otras superan el caudal requerido para almacenar el tanque de la planta quedando este vaciado y causando un servicio deficiente. Por lo que se recomienda implementar mecanismos para controlar las demandas no registradas y las fugas que existen en el sistema de distribución.

Otro aspecto fundamental es el análisis de los volúmenes de reserva (Tabla 28), en el escenario futuro del año 2045 el valor de volumen de almacenamiento requerido para el Subsistema I excede a la capacidad del tanque construido en la planta; además en los resultados se indicó que se necesita construir una reserva de 600 m³ para abastecer en horas pico a la población en un futuro. Por lo que se recomienda aprovechar el tanque de la planta para cubrir el volumen de reserva en el Subsistema I y construir un tanque independiente que cubra los volúmenes de reserva en los Subsistemas 2 y 3.

En base los criterios expuestos la reingeniería hidráulica del Subsistema I consiste en colocar un tanque rompe presión a 20 m de desnivel con respecto tanque de la planta reduciendo los valores altos de presión que se presentan en los ramales terminales de la parte baja a valores óptimos. En consecuencia, de la reducción de presión en las partes altas del Subsistema se presentaron dos nudos que perdieron presión y generan valores por debajo de los establecidos en la normativa, para solucionar este inconveniente se cambiaron algunos tramos de tubería para ganar energía de nudos que tienen mayor presión y cotas con mayor elevación.

Tras la reingeniería del Subsistema I se presentan los resultados de los valores de presión en los nudos, como se observa en la Ilustración 26 los valores de presión entre 70 y 100 mca representan un porcentaje del 43%, se observa que el valor máximo de presión en un nudo es de 84 mca, se trató de optimizar estos valores colocando el tanque rompe presión en una cota más baja; sin embargo, esto generaba presiones negativas en los nudos de las zonas altas, por lo que se vio conveniente que se trabaje con dichos valores. Con respecto al rango óptimo, se encuentran la mayor parte de los valores de presión con un 18% de valores de presión entre 10 a 50 mca y 37% de valores de presión entre 50 a 70 mca. En cuanto a valores con presión menores a 10 mca solo existe un nudo con un valor de 9.32 mca.

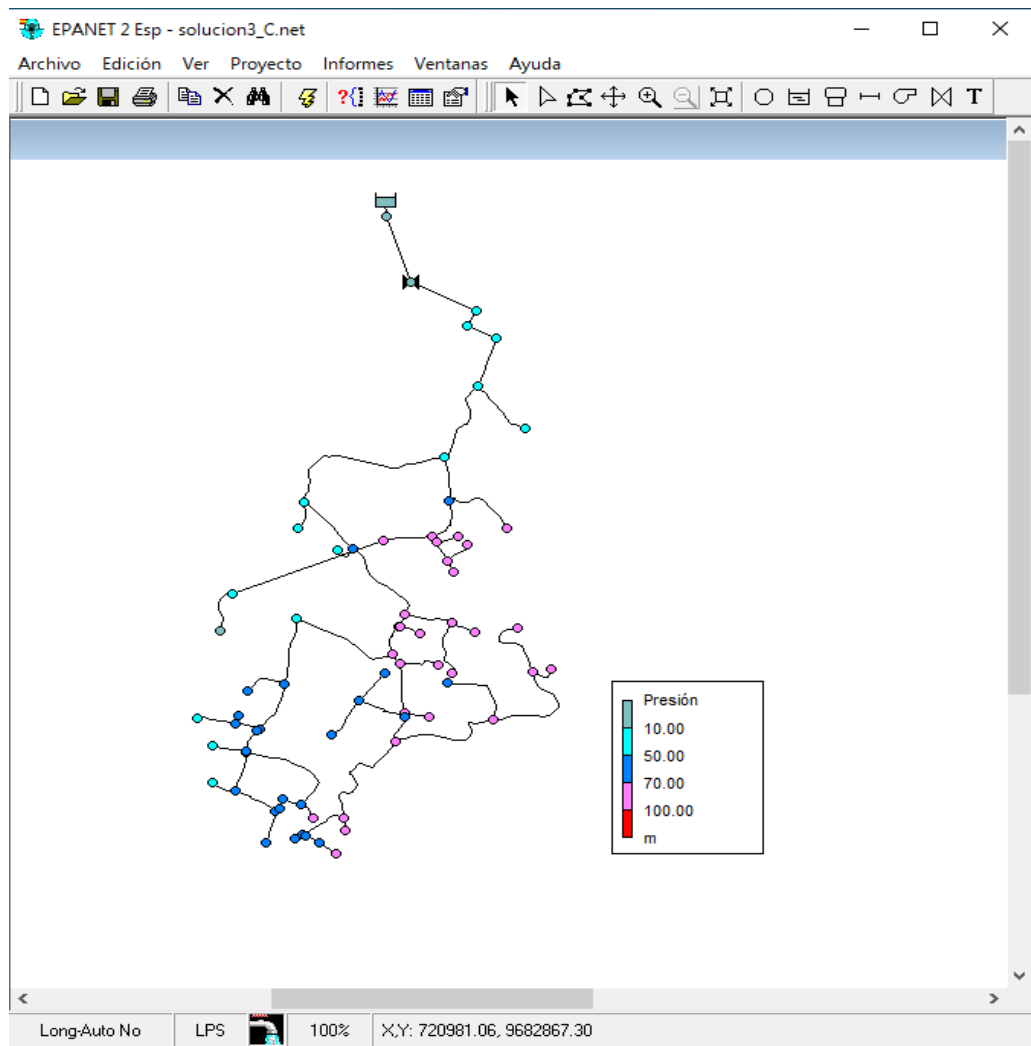


Ilustración 24. Reingeniería hidráulica del proyecto Subsistema I

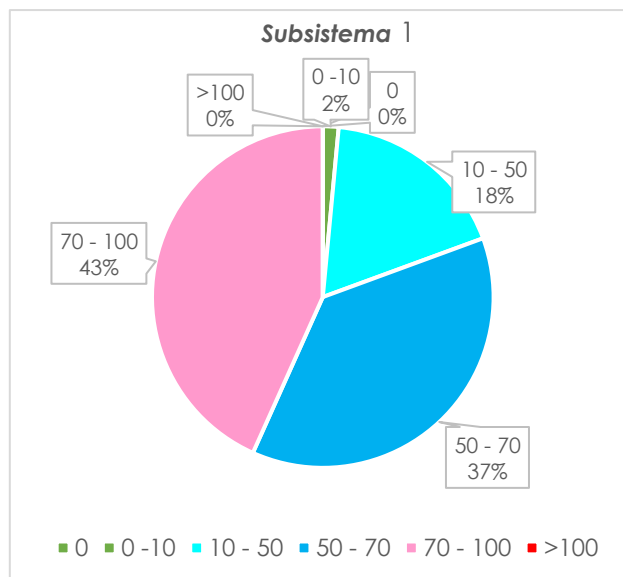


Ilustración 25. Representación gráfica de presiones tras la reingeniería del subsistema I

En la Tabla 32 se resumen los valores de presión del Subsistema I con un proceso reingeniería y los valores de presión del Subsistema I en su estado actual, se observa que después de la reingeniería, los valores de presión se han optimizado de tal manera que no existen presiones mayores a los 100 mca y el 55.22% de los nudos se encuentran en el rango óptimo.

Rango	Sistema I con Reingeniería		Subsistema I Actual	
	Frecuencia	F. Relativa	Frecuencia	F. Relativa
0	0	0.00%	0	0.00%
0 - 10	1	1.49%	0	0.00%
10 - 50	12	17.91%	4	6.06%
50 - 70	25	37.31%	3	4.55%
70 - 100	29	43.28%	23	34.85%
>100	0	0.00%	36	54.55%

Tabla 32. Valores de presión en el subsistema I

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En este trabajo se evaluó el Sistema de Distribución de Agua Potable de la Parroquia Sinincay del Cantón Cuenca incorporando modelización hidráulica unidimensional como herramienta de soporte a la toma de decisiones en la reingeniería del proyecto. Lo más importante de la evaluación del sistema de distribución fue establecer una línea de base del proyecto, mediante un levantamiento integral de información clave porque permitió la caracterización del estado actual del sistema y sus componentes, para posteriormente evaluar el desempeño hidráulico actual identificándose las deficiencias de funcionalidad y servicio, a partir de la validación de los principales parámetros de flujo (velocidades, caudales y presiones). Uno de los aspectos más importante en la evaluación del sistema de distribución fue la implementación de una metodología para el modelado hidráulico de redes de distribución de agua, basada en el uso de información creada mediante Sistemas de Información Geográfica, consiguiendo compatibilizar las utilidades de los SIG con el paquete computacional Epanet. El aspecto más complejo de la evaluación del sistema de distribución fue la selección de los parámetros de diseño, hidráulicos y de operación que permitan analizar el escenario más crítico y simular la realidad operacional de la red considerando un modelo estático de análisis ante la falta de estudios de variación de caudal y consumos incontrolados.

La generación de información estratégica necesaria para intervención futura, manejo y toma de decisiones como: catastro de usuarios, inventario técnico de infraestructura a través del uso del SIG permitió vincular la información alfanumérica y la información geográfica, proporcionando una base para llevar a cabo un sinnúmero de tareas que van desde los trabajos de inventario, a la obtención del esquema hidro técnico, alcance de servicio, zonificación del sistema, sectorización de la red y codificación de tuberías.

El esquema hidro técnico del sistema de distribución permitió zonificar la red identificando tres subsistemas, cada subsistema está conformado por un conjunto de elementos interconectados que distribuyen el agua a los diferentes sectores que lo conforman. Las tuberías de subsistemas diferentes no están interconectadas entre sí, únicamente están conectadas a la tubería matriz con un accesorio (cruz). En la red de agua potable de Sinincay se determinaron tres zonas de distribución y se denominaron en función de la demanda requerida para abastecer a cada subsistema: la zona de menor demanda (Z1), zona de demanda intermedia (Z2) y zona de mayor demanda (Z3).

En la Red de Distribución de Agua Potable se definieron 22 subsectores estableciendo puntos de control que permitan gestionar el funcionamiento de cada área de servicio.

No se realizó el análisis de procesos relacionados con transporte y decaimiento de desinfectante (cloro) debido a la restricción de acceso a la planta para realizar pruebas de laboratorio; no obstante, cuando se aplique la reingeniería se deben cumplir con una concentración de cloro libre residual de 0.3 a 1.5 mg/l en una muestra con un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos (INEN I 108, 2011)

5.2. Recomendaciones

Tras evaluar el sistema actual de la Red de Agua Potable de Sinincay se recomienda Actualizar permanentemente la base de datos contenedora de los atributos de los elementos que componen la red y de las medidas de campo, manteniendo una adecuada implementación del sistema de información geográfica.

Realizar un estudio de periodo extendido que contemple la variación de caudales, donde se determinen los coeficientes de mayoración, el funcionamiento de las reservas, fenómenos transitorios; y se puedan detectar y controlar las pérdidas de la red mediante la implementación de instrumentos de macromedición.

Calibrar el modelo hidráulico una vez que se analicen todas las variables que determinan el comportamiento de la red de distribución de agua para simular su realidad operacional.

Planificar un nuevo trazado de la red que abastece al subsistema I contemplando como criterio extra el estudio de crecimiento demográfico y la dispersión poblacional de los sectores que conforman la zona.

El valor de dotación proporcionado tanto por la norma *CO 10.7-601* cuya aplicación se recomienda para poblaciones mayores a 1000 habitantes; así como el valor de dotación proporcionado por la norma *CO 10.7 602* cuya aplicación se recomienda en zonas rurales, no se ajustan al valor de dotación promedio obtenida a partir del registro de consumos de los usuarios de la parroquia rural Sinincay, siendo más ajustados el valor de dotación proporcionado en los “Estudios y Diseños Finales de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca (Ecuador) II ETAPA.” Como recomendación del desarrollo del presente trabajo se sugiere que se analicen aspectos como población total, cercanía de las parroquias rurales a las zonas urbanas, aspectos de crecimiento de la población, entre los principales, para definir de mejor manera las dotaciones con las cuales se proyecta el diseño de los sistemas de distribución, como se observa en el análisis desarrollado en el presente proyecto, la parroquia Sinincay no tiene el comportamiento estricto de una parroquia rural a pesar de estar tipificada como tal. al ser una parroquia con potencial de expansión urbana tiene sus características específicas que no cuadran a los lineamientos de la normativa actual.

Para la proyección de la población futura a servir mediante el sistema de distribución de la parroquia de Sinincay, se utilizó el método geométrico, se recomienda realizar un análisis de la pertinencia de utilizar uno u otro método de proyección de la población y de los efectos que tiene este proceso en el diseño de los sistemas de distribución de agua potable.

La Junta Administradora de Agua Potable Sinincay fue desde sus inicios fundamental para la construcción, desarrollo y gestión del sistema de abastecimiento de la comunidad; sin embargo, aspectos como su crecimiento y proximidad a la ciudad de Cuenca son indicadores de que la institución encargada requiere una modernización tanto administrativa como técnica que permita prestar un servicio cumpliendo parámetros de calidad, cantidad y continuidad o en su defecto dar paso al GAD de Cuenca quien tiene las competencias exclusivas en la prestación del servicio de agua potable para que brinde este servicio.

Generar políticas que permitan cobrar a los miembros del JAAP Sinincay el incumplimiento de pago de la tarifa de castigo impuesta a los usuarios que exceden el consumo mensual base.

6. BIBLIOGRAFÍA

Bartolín, H. (2013). *Confección de modelos de redes de distribución de agua desde un Sig y desarrollo de herramientas de apoyo a la toma de decisiones*.
<https://doi.org/10.4995/THESIS/10251/33152>(s.f.).

Campbell Gonzalez, E. (2013). *Propuesta Para una Metodología de Sectorización de Redes de Abastecimiento de Agua Potable*. VALENCIA: UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA.

Castro, V., & Palacios, M. (2019). *Rediseño del sistema de agua potable para la comunidad Salinas, Santa Isabel*. Tesis de Pregrado, Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32331>

CEPIS. (2005). *GUÍA PARA EL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN EN SISTEMAS RURALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA*.
<https://jeffreydiaz.files.wordpress.com/2008/08/disenio-agua-potable.pdf>

CO 10.07 - 601, C. E. (s.f.). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. Ecuador.

CO 10.7 - 602, C. E. (2019). *NORMA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL*. Ecuador.

CPE INEN 5 Parte - 9, I. E. (2019). *CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. C.E.C.NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. Quito.

EPA. (2021). *EPANET - Application for Modeling Drinking Water Distribution Systems*. Obtenido de EPA United States Environmental Protection Agency:
<https://www.epa.gov/water-research/epanet>

- ETAPA EP. (2004). *Estudios y Diseños Finales de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca (Ecuador). II ETAPA.*
- González, E., & Bejarano, E. (2019). *Sistemas de información geográfica y modelado hidráulico de redes de abastecimiento de agua potable: estudios de caso en la provincia de Guanacaste, Costa Rica* *Geographic information systems and hydraulic modeling of potable water supply networks: case studies in the province of Guanacaste, Costa Rica. Revista Geográfica de América Central*, 63(2), 293–318. <https://doi.org/10.15359/rgac.63-2.11>
- IERE. (2017). *ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LAS TUBERÍAS DE AGUA Y ALCANTARILLADO DE PVC Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA SUSTENTABILIDAD DE LOS MATERIALES DE LAS TUBERÍAS.* Royersford EE. UU.: Sustainable Solutions Corp.
- INEC. (Marzo de 2019). *Medición de los indicadores de Agua, Saneamiento e Higiene (ASH), en Ecuador.* Obtenido de Ecuadorencifras: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/EMPLEO/2019/Indicadores%20ODS%20Agua%2C%20Saneamiento%20e%20Higiene-2019/3.%20Principales%20resultados%20indicadores%20ASH%202019.pdf>
- Krochin, S. (1986). *Diseño hidráulico (Tercera ed.).* Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Martínez, J., Iglesias, P., López, G., & Fuertes, V. (2013, October 12). *Utilización de geoprocetos para la elaboración y explotación de modelos de redes de agua potable.* Dep. Ing. Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia . <http://www.ingenieriadelagua.com/2004/11/11/jia2013/pdf/c15.pdf>
- Mendoza, M., & Sanchez, I. (2021). *SIG aplicado a la optimización del tiempo de diseño en redes de distribución de agua potable.* *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, XLII(1), 68–80.
- Morelos, R., & Ramírez, J. (2017). *Modelación hidráulica de la red de distribución de agua potable de una ciudad Mexicana EPANET.* *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 120-132.
- Nallanathel, M., Ramesh, B., & Santhosh, A. (2018). *Water distribution network design using EPANET A case study.* *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 19(18), 1165-1172.
- NTE INEN 1 108 (2011). *Agua Potable Requisitos.* Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito

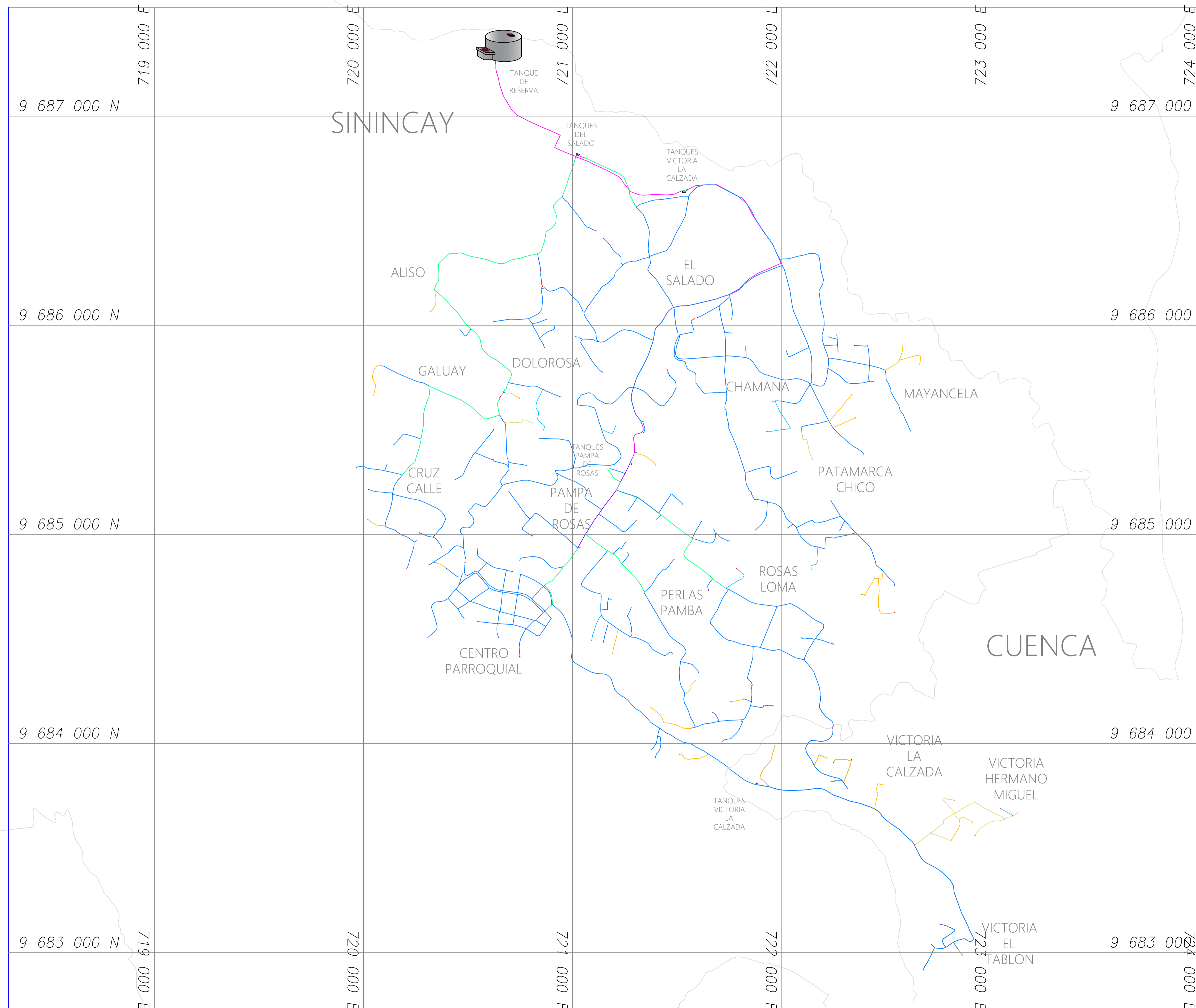
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica* (2nd ed., Vol. 1). Creative Commons Atribucion. https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf
- PDyOT Sinincay. (2015). *PDyOT Sinincay*.
- Pérez, R., Roldán, J., Moreno, M., & Gracia, S. (s.f.). *Análisis del comportamiento hidráulico de la red de abastecimiento de la ciudad de Cordoba mediante EPANET*.
- Pittenger, D. (1976). *Projecting state and local population*. Cambridge: Ballinger Publishing Co.
- Ratnasooriya, A. H., & Wijesekara, N. T. (2009). *Ageing of Pipes and Sustainability of Water Supply*. The Institution of Engineers, Sri Lanka.
- Román, L., & Muñoz, J. (2018). *Actualización de la modelación hidráulica de los sistemas de distribución de agua potable de la Parroquia Nulti, en los sectores: Nulti Centro, Chaullabamba y San Juan Pamba*. Tesis de Pregrado, Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Cuenca.
- Rossman, L. A. (2017). *EPANET 2.0 en Español: Análisis Hidráulico y de Calidad del Agua en Redes de Distribucion*. Manual de Usuario.
- Secretaria Nacional del Agua. (1997). *Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*.
- Streeter, V. L. (1970). *Mecánica de fluidos*. Juárez, Mexico: McGRAW-HILL.

7. ANEXOS

7.1. Anexo 1: Plano del catastro del Sistema de Distribución Agua Potable perteneciente al JAAP Sinincay.

Ilustración 26. Plano del Sistema de Distribución de Agua Potable administrado por el JAAP de Sinincay

SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE DEL JAAP SININCAY



- 25mm
- 32mm
- 50mm
- 63mm
- 75mm
- 90mm
- 100mm
- 110mm
- 150mm
- 160mm
- 200mm
- 250mm
- 350mm
- 400mm

DESCRIPCION	SIMBOLO
Reductor	
Válvula de control	
Válvula de aire	
Válvula de purga	
Estación reductora de presión	
Tanque rompe presión	
Tapón	
Unión	
Collarín	
Llave de vereda	
Medidor	
Macromedidor	
Hidrante	

UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL			
PROYECTO DE TESIS			
CONTENIDO: CATASTRO DE LA RED DE AGUA POTABLE DE SININCAY			
Marcelo Ávila		Fabían Bermeo	
PROFESOR: Ing. Verónica Carrillo, Msc	ESCALA: LAS INDICADAS	FECHA: Octubre 2021	HOJA: 01

7.2. Anexo 2: Resultados de la encuesta de habitantes por medidor para el sector de estudio.

Encuesta de habitantes por medidor.		
Número de viviendas.	Número de personas por vivienda.	Total (personas)
3	1	3
10	2	20
9	3	27
11	4	44
3	5	15
Total.		
36	15	109
Promedio de personas por vivienda.		3.03

Tabla 33 Encuesta realizada a 36 viviendas pertenecientes a la red de estudio para determinar el número de personas por medidor.

7.3. Anexo 3: Proyección aritmética de la población de Sinincay

- Proyección aritmética.

Intervalo de año.	Incremento de población. (hab)	"r" (hab/año)	Promedio "r"
1990-2001	-2419	-219.91	68.32
2001-2010	3209	356.56	

Tabla 34 Cálculo de la tasa de crecimiento aritmético.

Año	1990	2001	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Población	15069	15821	16436	16778	17120	17462	17804	18146	18488	18830	19172

Tabla 35 Proyección aritmética de la parroquia Sinincay hasta el año 2050.

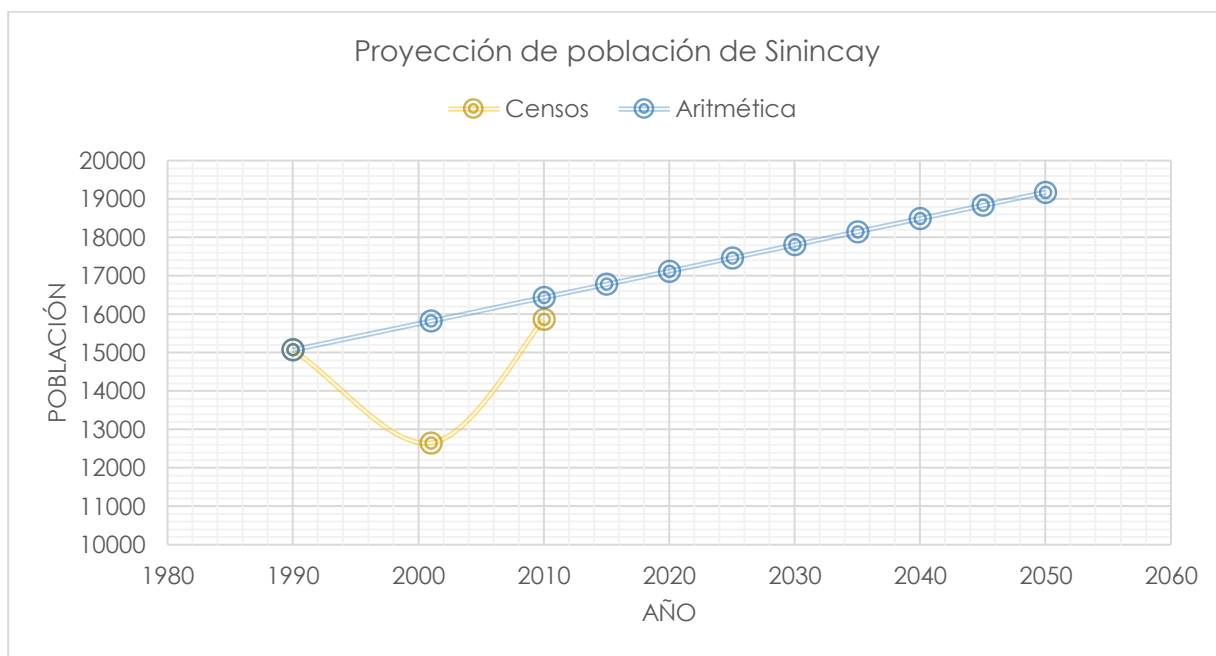


Ilustración 27. Proyección poblacional: Método aritmético

SECTORES	Número de medidores 2020	Población %	Población 2025	Población 2030	Población 2035	Población 2040	Población 2045
SECTOR I							
Alisos	73	1.49%	260	265	270	275	281
La Dolorosa	144	2.98%	520	531	541	551	561
Guluay	36	1.41%	246	251	256	261	266
Pampa de Rosas	162	2.12%	370	377	385	392	399
Cruz Calle	74	1.75%	306	312	318	324	330
SECTOR II							

Chamana	71	1.04%	182	185	189	192	196
Mayancela	144	4.33%	756	771	786	801	815
Patamarca Chico	88	1.64%	286	292	298	303	309
SECTOR III							
Chico Patamarca	133	1.47%	257	262	267	272	277
Pampa de Rosas	162	2.12%	370	377	385	392	399
Rosas Loma	126	2.69%	470	479	488	497	507
Perlas Pamba	122	1.74%	304	310	316	322	328
Victoria la Calzada	79	0.78%	136	139	142	144	147
Centro Parroquial	389	4.40%	768	783	798	813	829
Victoria Hermano Miguel	68	0.78%	136	139	142	144	147
Victoria el Tablon	22	0.81%	141	144	147	150	153

Tabla 36 Proyección aritmética por zonas

7.4. Anexo 4: Proyección geométrica de la población de Sinincay

Intervalo de año.	"r" (hab/año)	Promedio "r"
1990-2001	-1.5%	0.48%
2001-2010	2.54%	

Tabla 37 Cálculo de la tasa de crecimiento geométrico.

Año	1990	2001	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Población	15069	15889	16593	16998	17412	17837	17837	18271	18717	19173	19640

Tabla 38 Proyección geométrica de la parroquia Sinincay hasta el año 2050

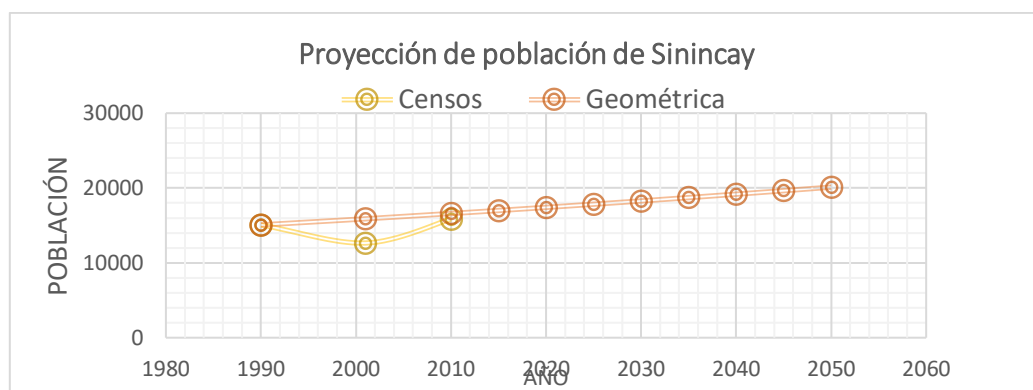


Ilustración 28 Proyección poblacional: Método geométrico

SECTORES	Número de medidores 2020	% Población	Población 2025	Población 2030	Población 2035	Población 2040	Población 2045
SECTOR I							
Alisos	73	1.49%	266	272	279	286	293
La Dolorosa	144	2.98%	532	544	558	571	585
Galuy	36	1.32%	235	241	247	253	259
Pampa de Rosas	162	2.12%	378	387	397	406	416
Cruz Calle	74	1.75%	312	320	328	336	344
SECTOR II							
Chamana	71	1.04%	186	190	195	199	204
Mayancela	144	4.33%	772	791	810	830	850
Patamarca Chico	88	1.64%	293	300	307	314	322
SECTOR III							
Chico Patamarca	133	1.47%	262	269	275	282	289
Pampa de Rosas	162	2.12%	378	387	397	406	416
Rosas Loma	126	2.69%	480	491	503	516	528
Perlas Pamba	122	1.74%	310	318	326	334	342
Victoria la Calzada	79	0.78%	139	143	146	150	153
Centro Parroquial	389	4.40%	785	804	824	844	864
Victoria Hermano Miguel	68	0.78%	139	143	146	150	153
Victoria el Tablon	22	0.81%	144	148	152	155	159

Tabla 39 Proyección geométrica por zonas

7.5. Anexo 5: Factor de mayoración (proyección de población aritmética)

SECTORES	Población 2025	Población 2030	Población 2035	Población 2040	Población 2045
SECTOR I					
Alisos	0.93	0.95	0.97	0.99	1.01
La Dolorosa	0.95	0.96	0.98	1.00	1.02
Galuy	1.68	1.71	1.74	1.77	1.81
Pampa de Rosas	0.60	0.61	0.62	0.63	0.65
Cruz Calle	1.08	1.10	1.12	1.14	1.17
SECTOR II					
Chamana	0.67	0.68	0.70	0.71	0.72
Mayancela	1.37	1.40	1.43	1.46	1.48
Patamarca Chico	0.85	0.87	0.89	0.90	0.92
SECTOR III					

Chico Patamarca	0.51	0.52	0.53	0.53	0.54
Pampa de Rosas	0.60	0.61	0.62	0.63	0.65
Rosas Loma	0.98	1.00	1.01	1.03	1.05
Perlas Pamba	0.65	0.66	0.68	0.69	0.70
Victoria la Calzada	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49
Centro Parroquial	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56
Victoria Hermano Miguel	0.52	0.53	0.54	0.56	0.57
Victoria el Tablon	1.68	1.72	1.75	1.78	1.81

Tabla 40 Factor de mayoración para proyección aritmética

7.6. Anexo 6: Factor de mayoración (proyección de población geométrica)

SECTORES	Población 2025	Población 2030	Población 2035	Población 2040	Población 2045
SECTOR I					
Alisos	0.95	0.98	1.00	1.02	1.05
La Dolorosa	0.97	0.99	1.01	1.04	1.06
Guluay	1.71	1.75	1.80	1.84	1.89
Pampa de Rosas	0.61	0.63	0.64	0.66	0.67
Cruz Calle	1.10	1.13	1.16	1.19	1.22
SECTOR II					
Chamana	0.68	0.70	0.72	0.74	0.75
Mayancela	1.40	1.44	1.47	1.51	1.55
Patamarca Chico	0.87	0.89	0.91	0.94	0.96
SECTOR III					
Chico Patamarca	0.52	0.53	0.54	0.55	0.57
Pampa de Rosas	0.61	0.63	0.64	0.66	0.67
Rosas Loma	1.00	1.02	1.05	1.07	1.10
Perlas Pamba	0.67	0.68	0.70	0.72	0.73
Victoria la Calzada	0.46	0.47	0.48	0.50	0.51
Centro Parroquial	0.53	0.54	0.55	0.57	0.58
Victoria Hermano Miguel	0.54	0.55	0.56	0.58	0.59
Victoria el Tablon	1.72	1.76	1.80	1.85	1.87

Tabla 41 Factor de mayoración para proyección geométrica

7.7. Anexo 7: Fotografías del trabajo



Ilustración 29 Reunión con la asamblea general de socios del JAAP Sinincay



Ilustración 30. Ortofoto de la planta de tratamiento del Sistema de Distribución



Ilustración 31. Instalación del equipo base.



Ilustración 32. Georreferenciación utilizando el BM ubicado en frente de la iglesia



Ilustración 33. Levantamiento de los tanques de almacenamiento



Ilustración 34. Lectura de las coordenadas correspondientes a un accesorio



Ilustración 35. Levantamiento de información con estudiantes de prácticas preprofesionales de la Universidad de Cuenca y el personal técnico del JAAP de Sinincay

7.8. Anexo 8: Informe de Resultados Estado Actual

Página 1
10:42:52

25/04/2022

```
*****
*****
*
*                               E P A N E T
*
*                               Análisis Hidráulico y de Calidad
*
*                               para Redes de Distribución de Agua
*
*                               Version 2.0
*
*
*
* * Versión española: Grupo IDMH,UPV           Grupo Aguas de
Valencia *
```

```
*****
*****
```

Fichero Input: Escenario-Actual-Etapa_in.net

prueba

Tabla de Líneas y Nudos:

ID	Nudo	Nudo	Longitud
Diámetro	Inicial	Final	m
Línea			
mm			
S174 (Z3)	n171	n172	0.5414
60.5			
T1	n227	n238	0.6905
60.5			
S169 (Z3)	n70	n71	0.7845
60.5			
S2 (Z2)	n267	n265	0.8515
60.5			
S35T1 (Z2)	n279	n280	0.9271
60.5			
S171 (Z3)	n211	n210	0.9311
48			
S170 (Z3)	n115	n245	1.093
38.4			
S168 (Z3)	n103	n104	1.318
60.5			
S205 (Z3)	n120	n219	1.377
153.8			
S172 (Z3)	n83	n84	1.623
60.5			

S54 (Z2)	n306	n333	1.859
60.5			
S26 (Z3)	n162	n163	2.611
60.5			
S24 (Z3)	n164	n165	2.789
60.5			
S28 (Z3)	n160	n161	2.836
60.5			
P19 (Z3)	n101	n102	2.858
105.8			
P6 (Z3)	n73	n74	3.052
192.30			
S75 (Z3)	n235	n212	3.054
60.5			
P16 (Z3)	n88	n91	3.864
105.8			
S38 (Z3)	n167	n168	4.842
60.5			
S2P11 (Z1)	n30	n29	4.961
60.5			
S13 (Z3)	n193	n218	5.019
60.5			
S173 (Z3)	n93	n94	5.565
105.8			
S106 (Z3)	n97	n98	5.678
60.5			
P23 (Z3)	n224	n158	6.143
105.8			
S39 (Z2)	n261	n262	6.395
60.5			
S1P6 (Z1)	n21	n53	7.053
60.5			
S1 (Z3)	n76	n227	7.399
105.8			
S73 (Z3)	n236	n234	7.733
192.30			
P11 (Z1)	n18	n31	8.226
60.5			
S17 (Z3)	n68	n170	8.482
60.5			
S2 (Z3)	n75	n226	8.602
60.5			
S4 (Z2)	n268	n276	8.698
30.4			
S67 (Z3)	n205	n237	9.226
60.5			
P1 (Z2)	n1	n254	10.16
192.30			
P20 (Z3)	n111	n101	11.24
105.8			

Página 2
 prueba
 Tabla de Líneas y Nudos: (continuación)

ID Diámetro Línea mm	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m
60.5 S43 (Z2)	n346	n269	11.4
60.5 S36T1 (Z2)	n259	n260	11.55
60.5 S19 (Z3)	n69	n218	11.77
60.5 S8P7 (Z1)	n36	n39	12.63
60.5 S157 (Z3)	n123	n122	13.07
60.5 S102 (Z3)	n99	n100	13.49
60.5 S3 (Z3)	n239	n73	14.43
60.5 S5T1P11 (Z1)	n11	n12	15.41
60.5 S52 (Z2)	n328	n326	15.87
60.5 S3P7 (Z1)	n32	n34	17.27
60.5 S53 (Z2)	n326	n349	18.17
60.5 S118 (Z3)	n114	n113	18.29
60.5 S44 (Z3)	n176	n171	19.89
60.5 S98 (Z3)	n155	n156	22.7
60.5 S8 (Z2)	n314	n313	24.39
105.8 S150 (Z3)	n92	n129	24.91
60.5 S125 (Z3)	n95	n92	25.16
60.5 S49 (Z2)	n332	n330	25.28
153.8 P10 (Z3)	n78	n79	26.02
60.5 S141 (Z3)	n141	n144	26.55
60.5 S3P2 (Z1)	n4	n48	28.09
60.5 S7T2P7 (Z1)	n36	n37	28.98
48 S87 (Z3)	n214	n215	29.04

S57 (Z3)	n183	n191	29.54
60.5			
S32 (Z2)	n257	n258	30.56
60.5			
S1T1P10 (Z1)	n57	n59	30.98
60.5			
S11 (Z2)	n315	n309	31.56
60.5			
S137 (Z3)	n139	n138	31.8
105.8			
S45T1 (Z2)	n255	n256	31.8
60.5			
S7T1 (Z2)	n313	n335	33.29
60.5			
S40 (Z2)	n262	n288	33.46
60.5			
S158 (Z3)	n124	n123	33.92
60.5			
S111 (Z3)	n118	n116	34.44
60.5			
S89 (Z3)	n240	n242	34.66
60.5			
P3 (Z2)	n302	n301	34.71
192.30			
S19T1 (Z2)	n324	n322	39.01
60.5			
S79 (Z3)	n210	n252	39.09
48			
S90 (Z3)	n242	n243	40.19
30.4			
S116 (Z3)	n114	n127	40.3
60.5			
S61 (Z3)	n199	n200	40.59
60.5			
S114 (Z3)	n70	n115	41.35
60.5			
P17 (Z3)	n91	n218	42.74
105.8			
S1P7 (Z1)	n20	n64	42.8
60.5			
S91 (Z3)	n232	n240	43.95
60.5			
S143 (Z3)	n144	n142	44.32
60.5			
S165 (Z3)	n227	n228	45.24
60.5			
S85 (Z3)	n208	n214	45.37
48			

Página 3
 prueba
 Tabla de Líneas y Nudos: (continuación)

ID Diámetro Línea mm	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m
60.5 S32 (Z3)	n165	n166	45.83
60.5 S27 (Z2)	n283	n281	47.11
60.5 S164 (Z3)	n109	n217	47.23
60.5 S4T2P2 (Z1)	n9	n7	50.07
60.5 S6T1P7 (Z1)	n38	n66	50.97
60.5 S18 (Z3)	n68	n69	51.75
105.8 P6 (Z1)	n22	n21	51.91
60.5 S41T1 (Z2)	n277	n278	53.61
60.5 S43 (Z3)	n175	n177	53.82
192.30 P5 (Z3)	n75	n73	54.04
60.5 S156 (Z3)	n251	n122	54.35
60.5 S123 (Z3)	n89	n90	54.49
60.5 S11T1 (Z2)	n309	n310	55.08
60.5 S15 (Z3)	n68	n195	55.23
30.4 S9P7 (Z1)	n39	n40	55.7
192.30 P7 (Z3)	n74	n81	55.91
30.4 S93 (Z3)	n230	n232	56.31
60.5 S35 (Z3)	n169	n170	56.33
60.5 S48 (Z3)	n174	n176	57.68
60.5 S27 (Z3)	n160	n162	58.06
60.5 S45 (Z3)	n172	n178	60.23
60.5 S55 (Z3)	n179	n182	60.81
60.5 S100 (Z3)	n223	n224	60.88

S145 (Z3)	n142	n143	61.17
60.5			
S135 (Z3)	n138	n135	62.51
105.8			
S23 (Z2)	n281	n336	63.74
60.5			
S33 (Z3)	n169	n166	65.37
60.5			
S107 (Z3)	n97	n125	65.66
60.5			
S117 (Z3)	n127	n128	65.77
30.4			
S41 (Z3)	n168	n175	66.72
60.5			
S68 (Z3)	n205	n222	66.73
60.5			
S47 (Z3)	n184	n187	67.02
60.5			
S25 (Z3)	n163	n164	67.36
60.5			
S147 (Z3)	n149	n143	67.97
60.5			
S3T1P11 (Z1)	n61	n62	68.14
60.5			
S42 (Z3)	n174	n175	68.71
60.5			
S13T1 (Z2)	n319	n316	68.76
30.4			
S44 (Z2)	n269	n270	69.21
60.5			
S86 (Z3)	n214	n216	69.38
38.4			
S30 (Z3)	n161	n186	69.49
60.5			
S3T2P11 (Z1)	n63	n61	69.5
60.5			
S10P7 (Z1)	n40	n41	70.12
60.5			
S134 (Z3)	n135	n137	70.28
60.5			
S25T1 (Z2)	n295	n297	71.26
30.4			
S31 (Z3)	n160	n166	72.47
60.5			
S52 (Z3)	n189	n190	72.54
60.5			
S83 (Z3)	n252	n253	72.86
48			

Página 4
 prueba
 Tabla de Líneas y Nudos: (continuación)

ID Diámetro Línea mm	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m
60.5 S22 (Z3)	n187	n188	73.29
60.5 S3T1P2 (Z1)	n48	n49	74.95
60.5 S50 (Z3)	n190	n192	75.13
153.8 P12 (Z3)	n82	n83	75.72
60.5 S62 (Z3)	n199	n201	75.72
60.5 S4 (Z3)	n81	n152	75.86
60.5 S12 (Z2)	n309	n291	76.58
30.4 S2P6 (Z1)	n53	n54	77.85
105.8 P22 (Z3)	n100	n158	78.7
60.5 S19 (Z2)	n322	n274	78.87
60.5 S162 (Z3)	n106	n107	78.93
60.5 S4P2 (Z1)	n48	n7	80.38
60.5 S115 (Z3)	n115	n114	80.39
60.5 S12 (Z3)	n192	n193	81.13
60.5 S99 (Z3)	n157	n155	81.24
60.5 S1P4 (Z1)	n50	n51	83.13
60.5 S120 (Z3)	n113	n112	83.46
30.4 S25 (Z2)	n282	n295	84.01
60.5 S50 (Z2)	n333	n332	84.09
60.5 S1P10 (Z1)	n57	n18	85.53
60.5 S2T1P7 (Z1)	n32	n33	86.2
60.5 S136 (Z3)	n138	n140	86.48
60.5 S40 (Z3)	n176	n168	87.1

S11 (Z3)	n192	n87	87.27
60.5			
P8 (Z3)	n81	n80	87.96
153.8			
S58 (Z3)	n181	n182	88.9
60.5			
S58 (Z2)	n318	n315	89
60.5			
S128 (Z3)	n131	n132	89.03
30.4			
S96 (Z3)	n102	n110	90.27
60.5			
S105 (Z3)	n126	n98	90.81
60.5			
S1P11 (Z1)	n31	n30	90.86
60.5			
S4T1P11 (Z1)	n26	n27	92.06
30.4			
S1T1P5 (Z1)	n15	n52	92.27
60.5			
S76 (Z3)	n212	n206	94.02
48			
S23 (Z3)	n163	n187	94.61
60.5			
S29 (Z3)	n161	n185	95.74
60.5			
S12T1P7 (Z1)	n45	n46	96.09
60.5			
S154 (Z3)	n121	n249	97.77
30.4			
S14 (Z3)	n165	n170	97.81
60.5			
S34 (Z3)	n193	n195	97.81
60.5			
S140 (Z3)	n145	n141	98.25
60.5			
S53 (Z3)	n189	n183	98.88
60.5			
S144 (Z3)	n147	n142	99.23
60.5			
S21 (Z3)	n164	n188	100.7
60.5			
S14 (Z2)	n316	n317	101.5
60.5			
S4T1P2 (Z1)	n7	n8	102.1
60.5			
P15 (Z3)	n87	n88	103.5
105.8			

Página 5
 prueba
 Tabla de Líneas y Nudos: (continuación)

ID Diámetro Línea mm	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m
S56 (Z3) 60.5	n182	n183	104.4
S130 (Z3) 60.5	n133	n134	106.2
S5 (Z3) 60.5	n107	n80	107
S78 (Z3) 30.4	n207	n252	107.6
S43T2 (Z2) 60.5	n269	n347	108.4
S159 (Z3) 30.4	n123	n246	109.1
S5P7 (Z1) 60.5	n34	n42	110.2
S39 (Z3) 60.5	n184	n167	110.6
S1P3 (Z1) 30.4	n13	n14	110.7
S122 (Z3) 60.5	n112	n89	110.7
S108 (Z3) 60.5	n119	n97	111.5
S77 (Z3) 48	n206	n207	112.1
S167 (Z3) 30.4	n250	n226	113.8
P11 (Z3) 153.8	n79	n82	114.4
P13 (Z3) 105.8	n84	n85	114.5
S124 (Z3) 60.5	n89	n92	115.8
S44T1 (Z2) 60.5	n270	n348	116.5
P9 (Z3) 153.8	n80	n78	118.1
S40T1 (Z2) 30.4	n288	n294	118.2
S1T1P11 (Z1) 60.5	n60	n30	118.5
S146 (Z3) 30.4	n148	n143	118.6
S119 (Z3) 60.5	n113	n159	119
S9T2 (Z3) 60.5	n197	n198	119.7

S63 (Z3)	n199	n202	120.8
60.5			
S95 (Z3)	n241	n230	121.4
60.5			
P7 (Z1)	n21	n20	121.5
105.8			
S59 (Z3)	n179	n180	124.5
60.5			
S9T1 (Z2)	n292	n299	126.4
38.4			
S6 (Z3)	n107	n109	126.5
60.5			
S16 (Z3)	n169	n195	127.6
60.5			
S45 (Z2)	n270	n256	128.9
60.5			
S13T2 (Z2)	n320	n319	130.1
30.4			
P14 (Z3)	n85	n87	130.5
105.8			
S6P11 (Z1)	n11	n28	131.1
60.5			
S142 (Z3)	n144	n146	131.1
38.4			
S138 (Z3)	n82	n139	131.9
105.8			
S97 (Z3)	n155	n111	133.7
60.5			
S34T1 (Z2)	n272	n273	134.5
60.5			
S17 (Z2)	n265	n263	134.9
60.5			
S48 (Z2)	n330	n331	135.8
60.5			
S28 (Z2)	n283	n285	137
60.5			
S38T1 (Z2)	n287	n300	137
48			
S2P10 (Z1)	n58	n57	139.3
60.5			
S4T1P7 (Z1)	n35	n55	140.3
60.5			
S36 (Z3)	n194	n169	141.4
60.5			
S81 (Z3)	n211	n213	141.7
48			
S9 (Z2)	n292	n314	144
60.5			

Página 6
 prueba
 Tabla de Líneas y Nudos: (continuación)

ID Diámetro Línea mm	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m
60.5 S127 (Z3)	n131	n95	145
30.4 S25T2 (Z2)	n295	n296	146.5
48 S1T1P7 (Z1)	n64	n65	147.8
60.5 S37 (Z3)	n167	n162	147.8
60.5 S6T1 (Z2)	n311	n312	149.4
60.5 S148 (Z3)	n150	n149	150.1
60.5 S20 (Z3)	n188	n69	153.6
60.5 S54 (Z3)	n179	n189	153.7
60.5 S113 (Z3)	n116	n70	154.8
60.5 S4T1 (Z2)	n276	n325	154.9
60.5 S155 (Z3)	n122	n121	156.2
60.5 S4P11 (Z1)	n29	n26	156.3
48 S80 (Z3)	n103	n100	156.4
48 S101 (Z3)	n206	n211	156.4
30.4 S65 (Z3)	n204	n203	156.6
30.4 S71 (Z3)	n220	n244	157.1
60.5 S1P9 (Z1)	n17	n25	157.4
192.30 P4 (Z3)	n76	n75	161
60.5 S5P11 (Z1)	n26	n11	161.4
60.5 S129 (Z3)	n133	n131	161.8
60.5 S121 (Z3)	n225	n112	165.5
60.5 S17T1 (Z2)	n263	n264	165.5
60.5 S9T1 (Z3)	n196	n197	166.7

S39T1 (Z2)	n262	n293	166.8
30.4			
S72 (Z3)	n220	n221	168.1
60.5			
S1P5 (Z1)	n22	n15	168.7
60.5			
S4T2P7 (Z1)	n56	n35	168.9
60.5			
S84 (Z3)	n208	n209	168.9
48			
S2T1P2 (Z1)	n4	n5	169.4
60.5			
S7 (Z2)	n313	n311	169.6
60.5			
S7P7 (Z1)	n38	n36	170.2
60.5			
S1P2 (Z1)	n3	n6	173.6
60.5			
S133 (Z3)	n135	n93	174.4
60.5			
S4P7 (Z1)	n34	n35	176.2
60.5			
S38 (Z2)	n261	n287	176.2
60.5			
S2P2 (Z1)	n6	n4	176.3
60.5			
S2P8 (Z1)	n23	n24	178.2
30.4			
S35 (Z2)	n279	n272	182.6
60.5			
S55 (Z2)	n334	n306	183.5
60.5			
S163 (Z3)	n108	n109	185.5
60.5			
S92 (Z3)	n232	n233	190.7
60.5			
S37 (Z2)	n280	n261	192.4
60.5			
S2P7 (Z1)	n64	n32	192.9
60.5			
S19T2 (Z2)	n322	n323	196.6
60.5			
S40T2 (Z2)	n288	n289	196.9
60.5			
S46 (Z3)	n171	n184	200.1
60.5			
P1 (Z1)	n1	n2	200.7
105.8			

Página 7
 prueba
 Tabla de Líneas y Nudos: (continuación)

ID Diámetro Línea mm	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m
P10 (Z1) 105.8	n17	n18	201.9
S110 (Z3) 60.5	n118	n117	211.4
S6 (Z2) 60.5	n307	n311	211.7
S36 (Z2) 60.5	n280	n259	214.5
S132 (Z3) 60.5	n93	n136	217.8
S1T2P5 (Z1) 38.4	n15	n16	221.5
S13 (Z2) 60.5	n291	n316	222.3
S29 (Z2) 60.5	n283	n284	223.8
S109 (Z3) 60.5	n119	n118	224.4
S57 (Z2) 60.5	n315	n314	229.4
S8 (Z3) 60.5	n79	n154	230
S13T3 (Z2) 30.4	n321	n319	232.3
S10 (Z3) 60.5	n85	n86	232.4
S151 (Z3) 30.4	n129	n130	233.6
S149 (Z3) 60.5	n149	n151	236.7
S1P1 (Z1) 60.5	n2	n10	238.1
S10 (Z2) 60.5	n291	n292	238.1
S69 (Z3) 30.4	n222	n229	239.3
S1P8 (Z1) 60.5	n19	n23	242
S56 (Z2) 60.5	n305	n306	242.8
S103 (Z3) 60.5	n117	n99	250.7
P4 (Z1) 105.8	n13	n51	254.1
S1 (Z2) 60.5	n266	n267	256.1

P9 (Z1)	n19	n17	260.5
105.8			
S15 (Z2)	n266	n271	261.1
60.5			
S49 (Z3)	n173	n174	263.4
60.5			
S64 (Z3)	n200	n203	266.4
60.5			
S36T2 (Z2)	n259	n298	266.7
38.4			
S66 (Z3)	n158	n101	270.1
105.8			
P21 (Z3)	n203	n205	270.1
60.5			
S1T1P2 (Z1)	n6	n67	271.8
60.5			
S82 (Z3)	n210	n208	272.8
48			
S24 (Z2)	n281	n282	279.9
60.5			
S153 (Z3)	n121	n120	281.3
60.5			
S11T1P7 (Z1)	n43	n44	282
60.5			
S46 (Z2)	n256	n286	283.8
60.5			
S20 (Z2)	n274	n275	289.2
60.5			
S13P7 (Z1)	n45	n47	290.6
60.5			
S33 (Z2)	n257	n346	291.8
60.5			
S7 (Z3)	n78	n153	300.4
60.5			
S9 (Z3)	n83	n197	300.8
60.5			
S5T1 (Z2)	n307	n308	304.1
60.5			
S51 (Z3)	n91	n190	316.8
60.5			
S26 (Z2)	n282	n290	320.5
60.5			
P2 (Z1)	n2	n3	330.4
105.8			
S104 (Z3)	n98	n117	333.6
60.5			
P5 (Z1)	n51	n22	344.4
105.8			

Página 8
 prueba
 Tabla de Líneas y Nudos: (continuación)

ID Diámetro Línea mm	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m
S51 (Z2) 60.5	n333	n328	349.8
S41 (Z2) 60.5	n277	n279	354.4
P4 (Z2) 105.8	n301	n266	363.2
S16 (Z2) 60.5	n267	n271	370.4
S152 (Z3) 60.5	n120	n119	375.6
S139 (Z3) 60.5	n139	n141	389.5
P8 (Z1) 105.8	n20	n19	389.9
S3P11 (Z1) 60.5	n29	n61	399.6
S131 (Z3) 60.5	n94	n133	402.9
S34 (Z2) 60.5	n272	n257	415
S11P7 (Z1) 60.5	n42	n43	415.4
S12P7 (Z1) 60.5	n43	n45	418.4
S3 (Z2) 60.5	n268	n265	423.7
S112 (Z3) 60.5	n99	n116	426.4
S42 (Z2) 60.5	n276	n277	434.6
S18 (Z2) 60.5	n263	n274	458.1
S6P7 (Z1) 60.5	n42	n38	464.7
S47 (Z2) 60.5	n346	n331	467.7
S70 (Z3) 60.5	n222	n220	524.5
P18 (Z3) 105.8	n105	n102	563.7
P1 (Z3) 192.30	n1	n72	572.5
S22 (Z2) 60.5	n258	n336	635.8
S21 (Z2) 60.5	n271	n258	636.3

P3 (Z1)	n3	n13	640.6
105.8			
S88 (Z3)	n240	n235	658.1
60.5			
M	n350	n1	705.3
192.30			
S74 (Z3)	n234	n235	840.6
60.5			
S60 (Z3)	n88	n200	848.9
60.5			
S5 (Z2)	n268	n307	857.7
60.5			
P3 (Z3)	n77	n76	1842
192.30			
T4	1	n350	1
192.30			
2	n237	n236	#N/A
60.50 Válvula			
1	n254	n302	#N/A
192.30 Válvula			
3	n72	n77	#N/A
192.30 Válvula			
4	n152	n105	#N/A
105.80 Válvula			

Resultados en los Nudos:

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
n1	0.07	2840.15	47.49	0.00
n2	0.01	2839.48	46.38	0.00
n3	0.07	2838.39	34.93	0.00
n4	0.01	2838.27	95.95	0.00
n5	0.06	2838.26	103.24	0.00
n6	0.04	2838.31	83.99	0.00

Página 9
 prueba
 Resultados en los Nudos: (continuación)

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
n7	0.05	2838.25	99.34	0.00
n8	0.04	2838.25	100.88	0.00
n9	0.08	2838.25	101.26	0.00
n10	0.02	2839.48	66.41	0.00
n11	0.06	2834.46	93.61	0.00
n12	0.00	2834.46	96.82	0.00
n13	0.18	2836.58	58.11	0.00
n14	0.05	2836.55	61.59	0.00
n15	0.13	2835.13	109.88	0.00
n16	0.07	2835.10	111.71	0.00
n17	0.07	2834.73	101.06	0.00
n18	0.09	2834.69	99.22	0.00
n19	0.17	2834.78	76.03	0.00
n20	0.04	2834.91	108.38	0.00
n21	0.02	2835.09	110.78	0.00
n22	0.43	2835.18	107.05	0.00
n23	0.22	2834.73	39.37	0.00
n24	0.00	2834.73	32.59	0.00
n25	0.03	2834.73	95.87	0.00
n26	0.03	2834.48	93.17	0.00
n27	0.14	2834.28	86.25	0.00
n28	0.10	2834.46	92.94	0.00
n29	0.00	2834.54	97.50	0.00
n30	0.06	2834.55	97.41	0.00
n31	0.00	2834.68	99.04	0.00
n32	0.11	2833.12	115.97	0.00
n33	0.07	2833.12	116.36	0.00
n34	0.00	2833.01	114.11	0.00
n35	0.13	2832.95	105.30	0.00
n36	0.29	2831.78	106.05	0.00
n37	0.07	2831.78	103.74	0.00
n38	0.14	2831.92	119.97	0.00
n39	0.00	2831.78	106.93	0.00
n40	0.06	2831.62	115.84	0.00
n41	0.10	2831.62	126.07	0.00
n42	0.05	2832.53	127.56	0.00
n43	0.15	2832.05	126.54	0.00
n44	0.17	2832.02	111.75	0.00
n45	0.12	2831.91	125.97	0.00
n46	0.10	2831.91	132.69	0.00
n47	0.09	2831.90	126.30	0.00
n48	0.01	2838.26	96.91	0.00
n49	0.02	2838.26	98.84	0.00
n50	0.09	2835.92	78.36	0.00
n51	0.34	2835.92	85.08	0.00
n52	0.06	2835.13	121.20	0.00
n53	0.00	2835.09	110.80	0.00

Página 10
 prueba
 Resultados en los Nudos: (continuación)

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
n54	0.01	2835.09	118.27	0.00
n55	0.11	2832.95	104.97	0.00
n56	0.06	2832.95	111.23	0.00
n57	0.01	2834.69	92.09	0.00
n58	0.09	2834.69	71.03	0.00
n59	0.01	2834.69	90.49	0.00
n60	0.01	2834.55	87.74	0.00
n61	0.07	2834.41	105.48	0.00
n62	0.10	2834.41	103.71	0.00
n63	0.13	2834.41	110.52	0.00
n64	0.01	2834.56	110.42	0.00
n65	0.08	2834.55	116.60	0.00
n66	0.00	2831.92	123.37	0.00
n67	0.05	2838.31	96.96	0.00
n68	0.01	2730.99	42.33	0.00
n69	0.01	2731.20	42.54	0.00
n70	0.14	2703.98	82.91	0.00
n71	0.00	2703.98	82.82	0.00
n72	0.07	2838.81	91.68	0.00
n73	0.01	2739.87	38.09	0.00
n74	0.00	2739.87	38.30	0.00
n75	0.04	2739.99	38.11	0.00
n76	0.58	2740.35	52.36	0.00
n77	0.00	2744.64	0.00	0.00
n78	0.00	2738.50	50.35	0.00
n79	0.07	2738.35	50.39	0.00
n80	0.10	2739.20	46.50	0.00
n81	0.00	2739.74	42.43	0.00
n82	0.34	2737.69	49.42	0.00
n83	0.07	2737.46	48.11	0.00
n84	0.00	2737.03	47.60	0.00
n85	0.00	2735.03	45.14	0.00
n86	0.10	2735.02	58.06	0.00
n87	0.00	2732.77	49.50	0.00
n88	0.03	2731.56	45.92	0.00
n89	0.04	2709.12	68.04	0.00
n90	0.03	2709.12	75.32	0.00
n91	0.00	2731.53	45.61	0.00
n92	0.08	2711.18	77.76	0.00
n93	0.34	2730.89	50.93	0.00
n94	0.00	2730.88	51.33	0.00
n95	0.20	2711.69	80.87	0.00
n97	0.00	2701.44	65.93	0.00
n98	0.42	2701.44	66.05	0.00
n99	0.21	2701.65	31.27	0.00
n100	0.00	2701.65	31.42	0.00
n101	0.00	2701.64	26.62	0.00

Página 11
 prueba
 Resultados en los Nudos: (continuación)

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
n102	0.23	2701.64	26.45	0.00
n103	0.05	2701.64	41.48	0.00
n104	0.00	2701.64	41.62	0.00
n105	0.00	2701.66	0.00	0.00
n106	0.04	2739.15	45.16	0.00
n107	0.05	2739.15	50.50	0.00
n108	0.07	2739.11	51.67	0.00
n109	0.18	2739.11	56.69	0.00
n110	0.03	2701.64	20.18	0.00
n111	0.00	2701.64	27.35	0.00
n112	0.01	2707.24	68.33	0.00
n113	0.00	2705.88	80.78	0.00
n114	0.00	2705.61	82.04	0.00
n115	0.00	2704.54	89.33	0.00
n116	0.24	2702.11	58.25	0.00
n117	0.15	2701.66	50.34	0.00
n118	0.03	2701.92	59.48	0.00
n119	0.05	2701.46	57.83	0.00
n120	0.26	2701.08	106.16	0.00
n121	0.04	2700.97	73.47	0.00
n122	0.12	2700.94	50.96	0.00
n123	0.00	2700.94	49.41	0.00
n124	0.01	2700.94	45.19	0.00
n125	0.22	2701.43	64.85	0.00
n126	0.03	2701.44	81.33	0.00
n127	0.05	2705.61	77.28	0.00
n128	0.06	2705.59	77.12	0.00
n129	0.00	2711.18	78.67	0.00
n130	0.16	2710.49	69.64	0.00
n131	0.16	2715.00	72.15	0.00
n132	0.05	2714.98	66.41	0.00
n133	0.25	2719.10	60.91	0.00
n134	0.05	2719.10	63.49	0.00
n135	0.08	2736.98	50.10	0.00
n136	0.07	2730.88	53.26	0.00
n137	0.07	2736.97	49.93	0.00
n138	0.00	2737.13	50.13	0.00
n139	0.08	2737.22	49.89	0.00
n140	0.05	2737.13	51.42	0.00
n141	0.33	2736.53	45.83	0.00
n142	0.01	2736.49	46.00	0.00
n143	0.00	2736.48	48.11	0.00
n144	0.00	2736.51	47.31	0.00
n145	0.03	2736.53	43.77	0.00
n146	0.04	2736.50	68.20	0.00
n147	0.23	2736.47	69.36	0.00
n148	0.06	2736.44	72.40	0.00

Página 12
 prueba
 Resultados en los Nudos: (continuación)

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
n149	0.01	2736.48	45.14	0.00
n150	0.06	2736.48	44.13	0.00
n151	0.02	2736.48	76.41	0.00
n152	0.00	2739.70	36.96	0.00
n153	0.06	2738.50	34.34	0.00
n154	0.11	2738.34	43.76	0.00
n155	0.17	2701.60	36.78	0.00
n156	0.03	2701.60	38.06	0.00
n157	0.08	2701.60	49.72	0.00
n158	0.21	2701.64	28.05	0.00
n159	0.19	2705.86	87.54	0.00
n160	0.08	2730.82	33.23	0.00
n161	0.00	2730.82	33.06	0.00
n162	0.13	2730.81	33.54	0.00
n163	0.26	2730.81	33.71	0.00
n164	0.07	2730.87	36.37	0.00
n165	0.00	2730.87	36.54	0.00
n166	0.12	2730.87	36.42	0.00
n167	0.23	2730.72	23.43	0.00
n168	0.04	2730.72	22.96	0.00
n169	0.21	2730.92	40.21	0.00
n170	0.58	2730.95	40.99	0.00
n171	0.36	2730.70	25.56	0.00
n172	0.00	2730.70	25.56	0.00
n173	0.06	2730.70	26.77	0.00
n174	0.06	2730.70	24.13	0.00
n175	0.13	2730.71	21.44	0.00
n176	0.02	2730.70	25.20	0.00
n177	0.03	2730.70	23.77	0.00
n178	0.01	2730.70	26.71	0.00
n179	0.12	2731.31	30.56	0.00
n180	0.05	2731.31	24.17	0.00
n181	0.12	2731.30	30.95	0.00
n182	0.08	2731.31	36.18	0.00
n183	0.19	2731.31	36.55	0.00
n184	0.00	2730.75	30.26	0.00
n185	0.04	2730.82	28.35	0.00
n186	0.06	2730.82	38.08	0.00
n187	0.10	2730.81	34.44	0.00
n188	0.08	2730.89	38.35	0.00
n189	0.12	2731.35	34.75	0.00
n190	0.34	2731.46	38.96	0.00
n191	0.04	2731.31	37.77	0.00
n192	0.14	2731.60	41.47	0.00
n193	5.21	2731.14	42.28	0.00
n194	0.11	2730.92	67.35	0.00
n195	0.07	2731.00	42.80	0.00

Página 13
 prueba
 Resultados en los Nudos: (continuación)

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
n196	0.11	2737.36	36.20	0.00
n197	0.07	2737.36	41.62	0.00
n198	0.11	2737.36	43.20	0.00
n199	0.01	2709.43	62.97	0.00
n200	0.68	2709.44	69.02	0.00
n201	0.12	2709.43	48.70	0.00
n202	0.06	2709.43	31.82	0.00
n203	0.07	2705.17	31.67	0.00
n204	0.11	2704.95	30.25	0.00
n205	0.07	2701.31	11.82	0.00
n206	0.03	2683.22	56.43	0.00
n207	0.13	2683.07	71.87	0.00
n208	0.20	2681.62	88.75	0.00
n209	0.27	2681.48	91.39	0.00
n210	0.00	2682.50	63.06	0.00
n211	0.16	2682.50	63.08	0.00
n212	0.00	2684.14	20.42	0.00
n213	0.04	2682.49	56.13	0.00
n214	0.06	2681.61	90.28	0.00
n215	0.01	2681.61	89.13	0.00
n216	0.07	2681.60	76.70	0.00
n217	0.03	2739.11	56.79	0.00
n218	0.00	2731.32	42.94	0.00
n219	0.00	2701.08	106.26	0.00
n220	0.82	2699.98	33.80	0.00
n221	0.05	2699.98	31.36	0.00
n222	0.00	2701.15	19.45	0.00
n223	0.05	2701.64	30.64	0.00
n224	0.00	2701.64	28.31	0.00
n225	0.05	2707.24	41.81	0.00
n226	0.00	2739.99	38.38	0.00
n227	0.00	2740.35	52.53	0.00
n228	0.02	2740.35	49.21	0.00
n229	0.05	2701.09	65.36	0.00
n230	0.00	2683.22	68.70	0.00
n232	0.00	2683.69	59.71	0.00
n233	0.11	2683.69	46.89	0.00
n234	0.00	2689.08	0.80	0.00
n235	0.00	2684.15	18.86	0.00
n236	0.00	2689.08	0.00	0.00
n237	0.00	2701.26	12.89	0.00
n238	0.00	2740.35	52.86	0.00
n239	0.02	2739.87	38.65	0.00
n240	0.00	2683.72	55.27	0.00
n241	0.30	2683.18	92.05	0.00
n242	0.00	2683.72	56.90	0.00
n243	0.04	2683.71	58.32	0.00

Página 14
 prueba
 Resultados en los Nudos: (continuación)

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
n244	0.04	2699.95	50.37	0.00
n245	0.00	2704.54	90.22	0.00
n246	0.10	2700.80	69.13	0.00
n249	0.04	2700.95	81.31	0.00
n250	0.06	2739.95	41.60	0.00
n251	0.01	2700.94	46.31	0.00
n252	0.16	2682.50	69.11	0.00
n253	0.00	2682.50	79.73	0.00
n254	0.00	2840.15	47.56	0.00
n255	0.03	2772.77	42.82	0.00
n256	0.02	2772.78	42.74	0.00
n257	0.00	2773.13	45.88	0.00
n258	0.08	2773.37	46.90	0.00
n259	0.17	2770.75	63.43	0.00
n260	0.02	2770.75	63.60	0.00
n261	0.11	2770.57	72.27	0.00
n262	0.00	2770.57	72.31	0.00
n263	0.02	2782.89	43.13	0.00
n264	0.00	2782.89	17.54	0.00
n265	0.00	2783.06	39.00	0.00
n266	0.07	2789.93	29.18	0.00
n267	0.17	2783.09	39.11	0.00
n268	0.60	2772.57	49.50	0.00
n269	0.00	2772.80	47.96	0.00
n270	0.02	2772.79	46.55	0.00
n271	0.04	2783.59	40.64	0.00
n272	0.00	2771.51	50.57	0.00
n273	0.06	2771.51	44.12	0.00
n274	0.50	2782.33	45.82	0.00
n275	0.00	2782.33	56.85	0.00
n276	0.00	2772.05	48.93	0.00
n277	0.27	2771.15	48.59	0.00
n278	0.09	2771.15	45.45	0.00
n279	0.62	2770.85	62.35	0.00
n280	0.00	2770.85	62.40	0.00
n281	0.02	2772.06	64.30	0.00
n282	0.02	2771.95	89.48	0.00
n283	0.01	2772.06	64.46	0.00
n284	0.09	2772.05	88.50	0.00
n285	0.03	2772.05	63.96	0.00
n286	0.13	2772.76	59.86	0.00
n287	0.10	2770.52	75.06	0.00
n288	0.01	2770.56	73.79	0.00
n289	0.22	2770.52	86.98	0.00
n290	0.21	2771.90	79.13	0.00
n291	0.03	2762.62	96.49	0.00
n292	0.14	2762.70	104.79	0.00

Página 15
 prueba
 Resultados en los Nudos: (continuación)

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
n293	0.08	2770.45	81.54	0.00
n294	0.05	2770.53	84.53	0.00
n295	0.00	2771.86	96.23	0.00
n296	0.09	2771.69	110.84	0.00
n297	0.00	2771.85	105.62	0.00
n298	0.19	2770.42	80.37	0.00
n299	0.08	2762.68	117.27	0.00
n300	0.16	2770.48	85.96	0.00
n301	0.00	2792.16	2.29	0.00
n302	0.00	2792.17	0.00	0.00
n305	0.10	2772.64	66.48	0.00
n306	0.00	2772.64	66.83	0.00
n307	0.27	2764.71	82.41	0.00
n308	0.22	2764.65	88.39	0.00
n309	0.03	2762.64	94.54	0.00
n310	0.05	2762.64	96.05	0.00
n311	0.14	2763.52	92.85	0.00
n312	0.20	2763.49	95.84	0.00
n313	0.13	2762.90	99.18	0.00
n314	0.01	2762.83	100.35	0.00
n315	0.10	2762.65	93.64	0.00
n316	0.17	2762.42	116.13	0.00
n317	0.13	2762.41	125.76	0.00
n318	0.06	2762.65	90.88	0.00
n319	0.00	2762.01	119.51	0.00
n320	0.01	2762.00	141.18	0.00
n321	0.23	2760.74	153.78	0.00
n322	0.01	2782.32	57.09	0.00
n323	0.13	2782.31	64.58	0.00
n324	0.00	2782.32	56.14	0.00
n325	0.04	2772.05	45.87	0.00
n326	0.00	2772.63	65.99	0.00
n328	0.00	2772.63	66.06	0.00
n330	0.00	2772.66	51.46	0.00
n331	0.06	2772.68	47.59	0.00
n332	0.00	2772.66	53.21	0.00
n333	0.00	2772.64	66.48	0.00
n334	0.00	2772.64	85.20	0.00
n335	0.02	2762.90	101.14	0.00
n336	0.39	2772.10	64.45	0.00
n346	0.03	2772.81	48.62	0.00
n347	0.09	2772.80	42.27	0.00
n348	0.02	2772.79	46.62	0.00
n349	0.11	2772.63	65.75	0.00
n350	0.00	2843.99	0.22	0.00
1	-33.62	2844.00	0.00	0.00

Embalse

Página 16
 prueba
 Resultados en las Líneas:

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado
S174 (Z3)	0.01	0.00	0.00	Abierta
T1	0.00	0.00	0.00	Abierta
S169 (Z3)	0.00	0.00	0.00	Abierta
S2 (Z2)	4.23	1.47	33.56	Abierta
S35T1 (Z2)	1.09	0.38	2.89	Abierta
S171 (Z3)	0.53	0.30	2.56	Abierta
S170 (Z3)	0.00	0.00	0.00	Abierta
S168 (Z3)	0.00	0.00	0.00	Abierta
S205 (Z3)	0.00	0.00	0.00	Abierta
S172 (Z3)	13.08	4.55	260.24	Abierta
S54 (Z2)	-0.10	0.03	0.16	Abierta
S26 (Z3)	-0.28	0.10	0.23	Abierta
S24 (Z3)	-0.43	0.15	0.53	Abierta
S28 (Z3)	0.10	0.03	0.00	Abierta
P19 (Z3)	-0.16	0.02	0.00	Abierta
P6 (Z3)	20.28	0.70	2.15	Abierta
S75 (Z3)	1.13	0.39	3.22	Abierta
P16 (Z3)	6.76	0.77	5.39	Abierta
S38 (Z3)	0.46	0.16	0.68	Abierta
S2P11 (Z1)	0.64	0.22	1.20	Abierta
S13 (Z3)	-4.36	1.52	35.76	Abierta
S173 (Z3)	3.90	0.44	1.98	Abierta
S106 (Z3)	0.01	0.00	0.05	Abierta
P23 (Z3)	-0.05	0.01	0.00	Abierta
S39 (Z2)	0.35	0.12	0.42	Abierta
S1P6 (Z1)	0.01	0.00	0.00	Abierta
S1 (Z3)	0.02	0.00	0.00	Abierta
S73 (Z3)	1.58	0.05	0.04	Abierta
P11 (Z1)	0.71	0.25	1.45	Abierta
S17 (Z3)	1.46	0.51	5.09	Abierta
S2 (Z3)	0.06	0.02	0.03	Abierta
S4 (Z2)	0.92	1.26	59.75	Abierta
S67 (Z3)	1.58	0.55	5.87	Abierta
P1 (Z2)	7.29	0.25	0.35	Abierta
P20 (Z3)	-0.28	0.03	0.03	Abierta
S43 (Z2)	0.31	0.11	0.34	Abierta
S36T1 (Z2)	0.02	0.01	0.00	Abierta
S19 (Z3)	-2.15	0.75	10.12	Abierta
S8P7 (Z1)	0.16	0.05	0.09	Abierta
S157 (Z3)	-0.11	0.04	0.02	Abierta
S102 (Z3)	0.44	0.15	0.62	Abierta
S3 (Z3)	-0.02	0.01	0.00	Abierta
S5T1P11 (Z1)	0.00	0.00	0.00	Abierta
S52 (Z2)	0.11	0.04	0.04	Abierta
S3P7 (Z1)	1.64	0.57	6.24	Abierta
S53 (Z2)	0.11	0.04	0.03	Abierta
S118 (Z3)	-2.63	0.91	14.42	Abierta

Página 17
 prueba
 Resultados en las Líneas: (continuación)

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado
S44 (Z3)	0.12	0.04	0.04	Abierta
S98 (Z3)	0.03	0.01	0.01	Abierta
S8 (Z2)	-1.05	0.37	2.87	Abierta
S150 (Z3)	0.16	0.02	0.01	Abierta
S125 (Z3)	3.19	1.11	20.41	Abierta
S49 (Z2)	-0.21	0.07	0.18	Abierta
P10 (Z3)	19.34	1.04	5.88	Abierta
S141 (Z3)	0.44	0.15	0.62	Abierta
S3P2 (Z1)	0.20	0.07	0.16	Abierta
S7T2P7 (Z1)	0.07	0.03	0.02	Abierta
S87 (Z3)	0.01	0.00	0.01	Abierta
S57 (Z3)	0.04	0.01	0.01	Abierta
S32 (Z2)	-1.86	0.65	7.82	Abierta
S1T1P10 (Z1)	0.01	0.00	0.00	Abierta
S11 (Z2)	0.34	0.12	0.40	Abierta
S137 (Z3)	4.50	0.51	2.59	Abierta
S45T1 (Z2)	-0.03	0.01	0.02	Abierta
S7T1 (Z2)	0.02	0.01	0.00	Abierta
S40 (Z2)	0.28	0.10	0.28	Abierta
S158 (Z3)	-0.01	0.00	0.01	Abierta
S111 (Z3)	-1.54	0.53	5.57	Abierta
S89 (Z3)	0.04	0.01	0.01	Abierta
P3 (Z2)	7.30	0.25	0.35	Abierta
S19T1 (Z2)	0.00	0.00	0.00	Abierta
S79 (Z3)	-0.06	0.04	0.05	Abierta
S90 (Z3)	0.04	0.06	0.20	Abierta
S116 (Z3)	0.10	0.04	0.04	Abierta
S61 (Z3)	-0.19	0.07	0.15	Abierta
S114 (Z3)	-2.52	0.88	13.42	Abierta
P17 (Z3)	6.52	0.74	5.01	Abierta
S1P7 (Z1)	1.90	0.66	8.10	Abierta
S91 (Z3)	-0.41	0.14	0.56	Abierta
S143 (Z3)	0.39	0.14	0.52	Abierta
S165 (Z3)	0.02	0.01	0.01	Abierta
S85 (Z3)	0.13	0.07	0.20	Abierta
S32 (Z3)	0.07	0.03	0.02	Abierta
S27 (Z2)	-0.12	0.04	0.04	Abierta
S164 (Z3)	0.03	0.01	0.01	Abierta
S4T2P2 (Z1)	-0.08	0.03	0.02	Abierta
S6T1P7 (Z1)	0.00	0.00	0.00	Abierta
S18 (Z3)	-1.27	0.44	4.01	Abierta
P6 (Z1)	3.38	0.38	1.57	Abierta
S41T1 (Z2)	0.09	0.03	0.03	Abierta
S43 (Z3)	0.03	0.01	0.01	Abierta
P5 (Z3)	20.31	0.70	2.20	Abierta
S156 (Z3)	-0.01	0.00	0.01	Abierta
S123 (Z3)	0.03	0.01	0.01	Abierta

Página 18
 prueba
 Resultados en las Líneas: (continuación)

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado
S11T1 (Z2)	0.05	0.02	0.02	Abierta
S15 (Z3)	-0.19	0.07	0.16	Abierta
S9P7 (Z1)	0.16	0.22	2.75	Abierta
P7 (Z3)	20.28	0.70	2.19	Abierta
S93 (Z3)	-0.30	0.41	8.41	Abierta
S35 (Z3)	-0.38	0.13	0.49	Abierta
S48 (Z3)	-0.06	0.02	0.02	Abierta
S27 (Z3)	0.27	0.10	0.28	Abierta
S45 (Z3)	0.01	0.00	0.00	Abierta
S55 (Z3)	0.09	0.03	0.03	Abierta
S100 (Z3)	-0.05	0.02	0.02	Abierta
S145 (Z3)	0.15	0.05	0.08	Abierta
S135 (Z3)	4.45	0.51	2.54	Abierta
S23 (Z2)	-0.46	0.16	0.69	Abierta
S33 (Z3)	0.50	0.17	0.78	Abierta
S107 (Z3)	0.22	0.08	0.20	Abierta
S117 (Z3)	0.06	0.08	0.29	Abierta
S41 (Z3)	0.22	0.08	0.20	Abierta
S68 (Z3)	0.96	0.34	2.45	Abierta
S47 (Z3)	-0.52	0.18	0.83	Abierta
S25 (Z3)	-0.56	0.19	0.94	Abierta
S147 (Z3)	-0.09	0.03	0.03	Abierta
S3T1P11 (Z1)	0.10	0.03	0.03	Abierta
S42 (Z3)	-0.06	0.02	0.02	Abierta
S13T1 (Z2)	-0.25	0.34	5.99	Abierta
S44 (Z2)	0.22	0.08	0.19	Abierta
S86 (Z3)	0.07	0.06	0.13	Abierta
S30 (Z3)	0.06	0.02	0.02	Abierta
S3T2P11 (Z1)	-0.13	0.05	0.06	Abierta
S10P7 (Z1)	0.10	0.03	0.03	Abierta
S134 (Z3)	0.07	0.02	0.02	Abierta
S25T1 (Z2)	0.00	0.00	0.01	Abierta
S31 (Z3)	-0.46	0.16	0.67	Abierta
S52 (Z3)	-0.73	0.25	1.51	Abierta
S83 (Z3)	0.00	0.00	0.00	Abierta
S22 (Z3)	-0.60	0.21	1.07	Abierta
S3T1P2 (Z1)	0.02	0.01	0.01	Abierta
S50 (Z3)	-0.83	0.29	1.87	Abierta
P12 (Z3)	13.43	0.72	3.05	Abierta
S62 (Z3)	0.12	0.04	0.05	Abierta
S4 (Z3)	0.41	0.14	0.57	Abierta
S12 (Z2)	0.26	0.09	0.26	Abierta
S2P6 (Z1)	0.01	0.02	0.05	Abierta
P22 (Z3)	0.39	0.04	0.03	Abierta
S19 (Z2)	-0.14	0.05	0.06	Abierta
S162 (Z3)	-0.04	0.01	0.02	Abierta
S4P2 (Z1)	0.17	0.06	0.11	Abierta

Página 19
 prueba
 Resultados en las Líneas: (continuación)

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado
S115 (Z3)	-2.52	0.88	13.42	Abierta
S12 (Z3)	1.55	0.54	5.66	Abierta
S99 (Z3)	-0.08	0.03	0.03	Abierta
S1P4 (Z1)	-0.09	0.03	0.03	Abierta
S120 (Z3)	-2.82	0.98	16.37	Abierta
S25 (Z2)	0.09	0.13	1.16	Abierta
S50 (Z2)	-0.21	0.07	0.17	Abierta
S1P10 (Z1)	-0.12	0.04	0.04	Abierta
S2T1P7 (Z1)	0.07	0.02	0.02	Abierta
S136 (Z3)	0.05	0.02	0.02	Abierta
S40 (Z3)	-0.19	0.07	0.15	Abierta
S11 (Z3)	-2.52	0.88	13.39	Abierta
P8 (Z3)	19.87	1.07	6.17	Abierta
S58 (Z3)	-0.12	0.04	0.04	Abierta
S58 (Z2)	-0.06	0.02	0.02	Abierta
S128 (Z3)	0.05	0.06	0.23	Abierta
S96 (Z3)	0.03	0.01	0.01	Abierta
S105 (Z3)	-0.03	0.01	0.01	Abierta
S1P11 (Z1)	0.71	0.25	1.45	Abierta
S4T1P11 (Z1)	0.14	0.19	2.23	Abierta
S1T1P5 (Z1)	0.06	0.02	0.02	Abierta
S76 (Z3)	1.13	0.63	9.79	Abierta
S23 (Z3)	0.02	0.01	0.00	Abierta
S29 (Z3)	0.04	0.01	0.01	Abierta
S12T1P7 (Z1)	0.10	0.04	0.03	Abierta
S154 (Z3)	0.04	0.06	0.22	Abierta
S14 (Z3)	-0.50	0.18	0.80	Abierta
S34 (Z3)	0.70	0.24	1.42	Abierta
S140 (Z3)	-0.03	0.01	0.01	Abierta
S53 (Z3)	0.34	0.12	0.40	Abierta
S144 (Z3)	-0.23	0.08	0.20	Abierta
S21 (Z3)	-0.19	0.07	0.15	Abierta
S14 (Z2)	0.13	0.04	0.05	Abierta
S4T1P2 (Z1)	0.04	0.01	0.01	Abierta
P15 (Z3)	10.46	1.19	11.72	Abierta
S56 (Z3)	-0.11	0.04	0.04	Abierta
S130 (Z3)	0.05	0.02	0.02	Abierta
S5 (Z3)	-0.37	0.13	0.46	Abierta
S78 (Z3)	0.23	0.32	5.28	Abierta
S43T2 (Z2)	0.09	0.03	0.03	Abierta
S159 (Z3)	0.10	0.14	1.24	Abierta
S5P7 (Z1)	1.34	0.47	4.37	Abierta
S39 (Z3)	0.27	0.09	0.27	Abierta
S1P3 (Z1)	0.05	0.07	0.26	Abierta
S122 (Z3)	-2.88	1.00	16.98	Abierta
S108 (Z3)	0.23	0.08	0.21	Abierta
S77 (Z3)	0.36	0.20	1.35	Abierta

Página 20
 prueba
 Resultados en las Líneas: (continuación)

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado
S167 (Z3)	-0.06	0.08	0.35	Abierta
P11 (Z3)	19.16	1.03	5.78	Abierta
P13 (Z3)	13.08	1.49	17.54	Abierta
S124 (Z3)	-2.95	1.03	17.73	Abierta
S44T1 (Z2)	0.02	0.01	0.00	Abierta
P9 (Z3)	19.40	1.04	5.91	Abierta
S40T1 (Z2)	0.05	0.06	0.23	Abierta
S1T1P11 (Z1)	-0.01	0.00	0.00	Abierta
S146 (Z3)	-0.06	0.09	0.40	Abierta
S119 (Z3)	0.19	0.07	0.15	Abierta
S9T2 (Z3)	0.11	0.04	0.03	Abierta
S63 (Z3)	0.06	0.02	0.02	Abierta
S95 (Z3)	-0.30	0.10	0.33	Abierta
P7 (Z1)	3.35	0.38	1.53	Abierta
S59 (Z3)	0.05	0.02	0.01	Abierta
S9T1 (Z2)	0.08	0.07	0.21	Abierta
S6 (Z3)	0.28	0.10	0.29	Abierta
S16 (Z3)	-0.44	0.15	0.62	Abierta
S45 (Z2)	0.18	0.06	0.12	Abierta
S13T2 (Z2)	-0.01	0.02	0.06	Abierta
P14 (Z3)	12.98	1.48	17.30	Abierta
S6P11 (Z1)	0.10	0.04	0.03	Abierta
S142 (Z3)	0.04	0.03	0.08	Abierta
S138 (Z3)	5.39	0.61	3.57	Abierta
S97 (Z3)	-0.28	0.10	0.30	Abierta
S34T1 (Z2)	0.06	0.02	0.02	Abierta
S17 (Z2)	0.67	0.23	1.30	Abierta
S48 (Z2)	-0.21	0.07	0.17	Abierta
S28 (Z2)	0.03	0.01	0.01	Abierta
S38T1 (Z2)	0.16	0.09	0.32	Abierta
S2P10 (Z1)	-0.09	0.03	0.03	Abierta
S4T1P7 (Z1)	0.11	0.04	0.04	Abierta
S36 (Z3)	-0.11	0.04	0.04	Abierta
S81 (Z3)	0.04	0.02	0.03	Abierta
S9 (Z2)	-0.54	0.19	0.90	Abierta
S127 (Z3)	3.40	1.18	22.81	Abierta
S25T2 (Z2)	0.09	0.13	1.12	Abierta
S1T1P7 (Z1)	0.08	0.04	0.06	Abierta
S37 (Z3)	-0.42	0.15	0.58	Abierta
S6T1 (Z2)	0.20	0.07	0.17	Abierta
S148 (Z3)	-0.06	0.02	0.02	Abierta
S20 (Z3)	-0.87	0.30	2.05	Abierta
S54 (Z3)	-0.27	0.09	0.27	Abierta
S113 (Z3)	-2.38	0.83	12.08	Abierta
S4T1 (Z2)	0.04	0.01	0.01	Abierta
S155 (Z3)	-0.24	0.08	0.22	Abierta
S4P11 (Z1)	0.34	0.12	0.40	Abierta

Página 21
 prueba
 Resultados en las Líneas: (continuación)

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado
S80 (Z3)	-0.05	0.03	0.04	Abierta
S101 (Z3)	0.74	0.41	4.60	Abierta
S65 (Z3)	-0.11	0.14	1.40	Abierta
S71 (Z3)	0.04	0.06	0.22	Abierta
S1P9 (Z1)	0.03	0.01	0.01	Abierta
P4 (Z3)	20.41	0.70	2.21	Abierta
S5P11 (Z1)	0.17	0.06	0.11	Abierta
S129 (Z3)	3.60	1.25	25.34	Abierta
S121 (Z3)	-0.05	0.02	0.01	Abierta
S17T1 (Z2)	0.00	0.00	0.00	Abierta
S9T1 (Z3)	-0.11	0.04	0.04	Abierta
S39T1 (Z2)	0.08	0.11	0.68	Abierta
S72 (Z3)	0.05	0.02	0.01	Abierta
S1P5 (Z1)	0.26	0.09	0.26	Abierta
S4T2P7 (Z1)	-0.06	0.02	0.02	Abierta
S84 (Z3)	0.27	0.15	0.83	Abierta
S2T1P2 (Z1)	0.06	0.02	0.02	Abierta
S7 (Z2)	-1.20	0.42	3.62	Abierta
S7P7 (Z1)	0.52	0.18	0.85	Abierta
S1P2 (Z1)	0.36	0.13	0.45	Abierta
S133 (Z3)	4.31	1.50	34.90	Abierta
S4P7 (Z1)	0.30	0.10	0.33	Abierta
S38 (Z2)	0.26	0.09	0.25	Abierta
S2P2 (Z1)	0.27	0.09	0.27	Abierta
S2P8 (Z1)	0.00	0.00	0.00	Abierta
S35 (Z2)	-1.20	0.42	3.59	Abierta
S55 (Z2)	0.00	0.00	0.00	Abierta
S163 (Z3)	-0.07	0.03	0.02	Abierta
S92 (Z3)	0.11	0.04	0.04	Abierta
S37 (Z2)	0.72	0.25	1.47	Abierta
S2P7 (Z1)	1.82	0.63	7.48	Abierta
S19T2 (Z2)	0.13	0.04	0.05	Abierta
S40T2 (Z2)	0.22	0.08	0.19	Abierta
S46 (Z3)	-0.25	0.09	0.24	Abierta
P1 (Z1)	5.18	0.59	3.33	Abierta
P10 (Z1)	0.92	0.10	0.16	Abierta
S110 (Z3)	0.65	0.23	1.23	Abierta
S6 (Z2)	1.55	0.54	5.63	Abierta
S36 (Z2)	0.38	0.13	0.48	Abierta
S132 (Z3)	0.07	0.02	0.02	Abierta
S1T2P5 (Z1)	0.07	0.06	0.13	Abierta
S13 (Z2)	0.55	0.19	0.91	Abierta
S29 (Z2)	0.09	0.03	0.03	Abierta
S109 (Z3)	-0.86	0.30	2.02	Abierta
S57 (Z2)	-0.50	0.17	0.79	Abierta
S8 (Z3)	0.11	0.04	0.03	Abierta
S13T3 (Z2)	-0.23	0.32	5.46	Abierta

Página 22
 prueba
 Resultados en las Líneas: (continuación)

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado
S10 (Z3)	0.10	0.03	0.03	Abierta
S151 (Z3)	0.16	0.23	2.96	Abierta
S149 (Z3)	0.02	0.01	0.01	Abierta
S1P1 (Z1)	0.02	0.01	0.01	Abierta
S10 (Z2)	-0.31	0.11	0.35	Abierta
S69 (Z3)	0.05	0.07	0.26	Abierta
S1P8 (Z1)	0.22	0.08	0.20	Abierta
S56 (Z2)	-0.10	0.03	0.03	Abierta
S103 (Z3)	0.05	0.02	0.02	Abierta
P4 (Z1)	4.49	0.51	2.59	Abierta
S1 (Z2)	3.71	1.29	26.70	Abierta
P9 (Z1)	1.02	0.12	0.19	Abierta
S15 (Z2)	3.52	1.22	24.26	Abierta
S49 (Z3)	-0.06	0.02	0.02	Abierta
S64 (Z3)	2.79	0.97	16.02	Abierta
S36T2 (Z2)	0.19	0.16	1.24	Abierta
S66 (Z3)	0.13	0.01	0.00	Abierta
P21 (Z3)	2.61	0.91	14.27	Abierta
S1T1P2 (Z1)	0.05	0.02	0.02	Abierta
S82 (Z3)	0.60	0.33	3.20	Abierta
S24 (Z2)	0.33	0.11	0.37	Abierta
S153 (Z3)	-0.32	0.11	0.37	Abierta
S11T1P7 (Z1)	0.17	0.06	0.11	Abierta
S46 (Z2)	0.13	0.04	0.05	Abierta
S20 (Z2)	0.00	0.00	0.00	Abierta
S13P7 (Z1)	0.09	0.03	0.03	Abierta
S33 (Z2)	0.61	0.21	1.09	Abierta
S7 (Z3)	0.06	0.02	0.02	Abierta
S9 (Z3)	0.29	0.10	0.31	Abierta
S5T1 (Z2)	0.22	0.08	0.19	Abierta
S51 (Z3)	0.25	0.09	0.24	Abierta
S26 (Z2)	0.21	0.07	0.18	Abierta
P2 (Z1)	5.16	0.59	3.30	Abierta
S104 (Z3)	-0.45	0.16	0.65	Abierta
P5 (Z1)	4.07	0.46	2.17	Abierta
S51 (Z2)	0.11	0.04	0.04	Abierta
S41 (Z2)	0.52	0.18	0.84	Abierta
P4 (Z2)	7.30	0.83	6.14	Abierta
S16 (Z2)	-0.69	0.24	1.36	Abierta
S152 (Z3)	-0.59	0.20	1.03	Abierta
S139 (Z3)	0.80	0.28	1.77	Abierta
P8 (Z1)	1.42	0.16	0.34	Abierta
S3P11 (Z1)	0.30	0.11	0.34	Abierta
S131 (Z3)	3.90	1.36	29.24	Abierta
S34 (Z2)	-1.25	0.44	3.90	Abierta
S11P7 (Z1)	0.62	0.22	1.15	Abierta
S12P7 (Z1)	0.31	0.11	0.34	Abierta

Página 23
 prueba
 Resultados en las Líneas: (continuación)

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida m/km	Unit. Estado
S3 (Z2)	-3.56	1.24	24.76	Abierta
S112 (Z3)	-0.60	0.21	1.07	Abierta
S42 (Z2)	0.87	0.30	2.07	Abierta
S18 (Z2)	0.65	0.22	1.22	Abierta
S6P7 (Z1)	0.67	0.23	1.30	Abierta
S47 (Z2)	0.27	0.09	0.27	Abierta
S70 (Z3)	0.91	0.32	2.22	Abierta
P18 (Z3)	0.41	0.05	0.04	Abierta
P1 (Z3)	21.07	0.73	2.35	Abierta
S22 (Z2)	0.85	0.30	1.99	Abierta
S21 (Z2)	2.79	0.97	16.07	Abierta
P3 (Z1)	4.72	0.54	2.83	Abierta
S88 (Z3)	-0.45	0.16	0.65	Abierta
M	33.62	1.16	5.45	Abierta
S74 (Z3)	1.58	0.55	5.86	Abierta
S60 (Z3)	3.66	1.27	26.06	Abierta
S5 (Z2)	2.04	0.71	9.17	Abierta
P3 (Z3)	21.01	0.72	2.33	Abierta
T4	33.62	1.16	5.36	Abierta
2	1.58	0.55	12.18	Activa
Válvula 1	7.29	0.25	47.98	Activa
Válvula 3	21.01	0.72	94.16	Activa
Válvula 4	0.41	0.05	38.04	Activa