



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no  
Renovables

Carrera de Ingeniería Electromecánica

### **Diseño y simulación de la red externa de agua potable para el barrio Togueros, parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo, provincia de Loja**

**Trabajo de Titulación previo a la  
obtención del Título de Ingeniero  
Electromecánico**

**AUTOR:**

Steve Efraín Maldonado Machuca.

**DIRECTOR:**

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo Mg. Sc.

Loja - Ecuador  
2022

## Certificación

Loja, 28 de julio del 2021

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo Mg. Sc.

### **DIRECTOR DE TRAJABO DE INTEGRACIÓN DE TITULACIÓN**

Certifico:

Haber dirigido, en todas sus partes el desarrollo del proyecto de titulación denominado: “**Diseño y simulación de la red externa de agua potable para el barrio Togueros, parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo, provincia de Loja**” de autoría del postulante Steve Efraín Maldonado Machuca, previa a la obtención del título de Ingeniería Electromecánica, el informe del trabajo ejecutado tanto en su forma como en su contenido está conformado con los requisitos exigidos por los reglamentos de la Universidad Nacional de Loja, con los procedimientos técnicos de la elaboración del tema propuesto y con las normas de investigación científica.

Por lo tanto, luego de haber revisado en forma prolija autorizo, su presentación, sustentación y ante el correspondiente tribunal de grado.



Firmado electrónicamente por:  
**MARCO VINICIO  
ROJAS MONCAYO**

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TRAJABO DE INTEGRACIÓN DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo Steve Efraín Maldonado Machuca declaro ser el autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, declaro y autorizó a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de titulación en el repositorio institucional-Biblioteca virtual.

Autor: Steve Efraín Maldonado Machuca

Firma:  Firmado electrónicamente por:  
**STEVE EFRAIN  
MALDONADO  
MACHUCA**

Cédula de identidad: 1105372526

Fecha: 22 de junio del 2022

Correo electrónico: [steve.maldonado@unl.edu.ec](mailto:steve.maldonado@unl.edu.ec)

Teléfono o celular: 0994561679

**Carta de autorización del trabajo de integración de titulación por parte de Steve Maldonado para la consulta de producción parcial o total, y publicación electrónica de texto completo.**

Yo, **Steve Efraín Maldonado Machuca**, declaro se autor del trabajo de titulación denominado: **Diseño y simulación de la red externa de agua potable para el barrio Togueros, parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo, provincia de Loja**, como requisito para optar el Grado de Ingeniero Electromecánico; autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar los contenidos de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza del plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 22 días del mes de junio del dos mil veinte y dos.

**Firma:**



Firmado electrónicamente por:

**STEVE EFRAIN  
MALDONADO  
MACHUCA**

Autor: Steve Efraín Maldonado Machuca

Cédula: 1105372526

Dirección: Teodomiro Jaramillo y Antonio Rojas

Correo electrónico: [steve.maldonado@unl.edu.ec](mailto:steve.maldonado@unl.edu.ec)

Teléfono: 3026987 Celular: 0994561679

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

Director del trabajo de titulación: Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo Mg.sc

Tribunal de Grado:

Presidente: Ing. Darwin Tapia Mg.sc

Primer Vocal: Ing. Byron Solórzano Mg.sc

Segundo Vocal: Ing. Jorge Maldonado Mg.sc

### **Dedicatoria**

Este proyecto se lo dedico a todos aquellos habitantes del sector Togueros, ya que el acceso al agua potable es un derecho indispensable en la vida de cualquier persona. Y mis padres que me educaron para siempre actuar con equidad y transparencia.

**Steve Efraín Maldonado Machuca**

### **Agradecimiento**

Agradezco a mis padres, familiares y amigos que creyeron en mí y me apoyaron constantemente con gestos de empatía y cariño. A mi tutor de tesis y aquellos maestros que supieron formar y desarrollar mis conocimientos y destrezas para convertirme en un buen profesional.

**Steve Efraín Maldonado Machuca**

## Índice de contenidos

Portada.....	I
Certificación.....	ii
Autoría .....	iii
Carta de autorización del trabajo de integración curricular o de titulación .....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de tablas .....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xiii
Índice de ecuaciones .....	xiv
Simbología .....	xv
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
2.1 Abstract .....	3
3. Introducción .....	4
4. Marco Teórico.....	6
4.1 Generalidades.....	6
4.1.1 <i>Red de Distribución</i> .....	6
4.1.2 <i>Tipos de redes</i> .....	6
4.1.3 <i>Representación física de la red</i> .....	7
4.2 Pérdidas de Energía Primarias y Secundarias .....	9
4.2.1 <i>Número de Reynolds</i> .....	9
4.2.2 <i>Ecuación de Darcy para la pérdida de energía primaria</i> .....	10

4.2.3	<i>Pérdida por fricción o Primaria en el Flujo Turbulento</i>	10
4.2.4	<i>Diagrama de Moody</i>	12
4.2.5	<i>Pérdidas Menores o Secundarias</i>	13
4.3	Requisitos de Diseño	17
4.3.1	<i>Diámetros de las tuberías de la red de distribución</i>	17
4.3.2	<i>Presiones de las tuberías de la red de distribución</i>	17
4.3.3	<i>Demanda de caudal en las tuberías de la red de distribución</i>	18
4.4	Sistema de Bombeo	23
4.4.1	<i>Suministros que requieren equipos para inyección de presión</i>	24
4.4.2	<i>Características del grupo motor-bomba-hidroneumático</i>	25
4.5	División del Consumo de Agua Potable	26
4.6	Software	28
4.6.1	<i>AutoCAD</i>	28
4.6.2	<i>EpaCAD</i>	28
4.6.3	<i>Epanet</i>	28
4.6.4	<i>Google Earth Pro</i>	42
5.	Metodología	46
5.1	Materiales para la elaboración del proyecto	46
5.2	Ubicación	46
5.3	Metodología	48
5.3.1	<i>Caracterizar la demanda de caudal en el sector Togueros de San Pedro de la Bendita</i>	48
5.3.2	<i>Actualizar el estudio topográfico de la REDAP del sector Togueros de manera que se ubique los puntos de demanda de caudal</i>	57
5.3.3	<i>Simular los parámetros hidráulicos y energéticos de la red externa de agua potable, de que se optimice su uso</i>	63



6.	Resultados .....	66
6.1	Demanda de caudal en la REDAP y RIDAP .....	66
6.2	Extracción de cotas de elevación .....	66
6.3	Resultados de simulación.....	67
6.3.1	<i>Simulación de REDAP por el método de dotación diaria (per cápita) .....</i>	<i>70</i>
6.3.2	<i>Simulación de la RIDAP por el método de caudal instantáneo.....</i>	<i>77</i>
7.	Discusión.....	83
8.	Conclusiones .....	86
9.	Recomendaciones .....	87
10.	Bibliografía .....	88
11.	Anexos .....	90

### **Índice de tablas**

Tabla 1 .	Rugosidad de la tubería.....	10
Tabla 2.	Rugosidad Absoluta de Distintos Materiales.....	11
Tabla 3.	Resistencia en válvulas y accesorios expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería.....	15
Tabla 4.	Constante de pérdidas por accesorios .....	16
Tabla 5.	Tasas de Crecimiento Poblacional .....	18
Tabla 6.	Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos .....	19
Tabla 7.	Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio .....	20
Tabla 8.	Porcentaje de fugas a considerarse en el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable.....	20
Tabla 9.	Norma Hidrosanitaria NHE Agua.....	21
Tabla 10.	Ciclos por hora de encendido y apagado del grupo motor-bomba .....	25

Tabla 11. Tipos de Usuarios Domésticos .....	27
Tabla 12. Tipos de Usuarios No-Domésticos .....	27
Tabla 13. Características del programa EPANET .....	30
Tabla 14. Tipos de válvulas en Epanet .....	40
Tabla 15. Materiales necesarios para el reconocimiento y elaboración del proyecto.....	46
Tabla 16. Pérdidas Secundarias de la Vivienda Tipo .....	53
Tabla 17. Válvula Reductora de Presión con Asiento Equilibrado .....	65
Tabla 18. Resumen de resultados obtenidos por el método de dotación diaria .....	66
Tabla 19. Resumen de resultados obtenidos por el método de caudal instantáneo .....	66
Tabla 20. Especificaciones técnicas de la tubería plastigama roscable de PVC.....	67
Tabla 21. Resumen de los diámetros nominales de la REDAP .....	72
Tabla 22. Especificaciones de caudal y altura entregada por los modelos PKS.....	78
Tabla 23. Resultados Arrojados de la Simulación de los Nudos de la RIDAP .....	81
Tabla 24. Resultados de Simulación de Tuberías de la RIDAP .....	82
Tabla 25. Resultados obtenidos con diámetros de tuberías distintas .....	85

### **Índice de figuras**

Figura 1. Red Abierta.....	6
Figura 2. Red Cerrada.....	7
Figura 3. Red Dentrítica de Riego .....	7
Figura 5. Coeficientes de Resistencia de Entrada.....	14
Figura 6. Válvula de Globo.....	14
Figura 7. Válvula de Ángulo.....	14
Figura 8. Válvula de Compuerta.....	15
Figura 11. Tes Estándar .....	15
Figura 9. Válvula de Retención .....	15

Figura 10. Codos de Tubería.....	15
Figura 12. Puntos de Referencia para un Sistema de Bombeo .....	23
Figura 13. Gráfica de división de consumos.....	27
Figura 14. Componentes de una Red en EPANET .....	29
Figura 15. Presentación de gráfica de resultados EPANET .....	29
Figura 16. Presentación típica del programa EPANET .....	30
Figura 17. Símbolo de un embalse en Epanet.....	31
Figura 18. Propiedades de un embalse en Epanet.....	32
Figura 19. Símbolo de una conexión en Epanet .....	33
Figura 20. Propiedades de las conexiones en Epanet .....	33
Figura 21. Representación de una tubería en Epanet.....	34
Figura 22. Propiedades de las Tuberías en Epanet .....	35
Figura 23. Colocación de forma automática la longitud de tubería.....	36
Figura 24. Representación de una bomba en Epanet .....	37
Figura 25. Propiedades de la bomba en Epanet .....	38
Figura 26. Curva característica de una bomba en Epanet.....	39
Figura 27. Representación de una válvula en Epanet .....	40
Figura 28. Propiedades de una válvula en Epanet .....	41
Figura 29. Proyección de superficie terrestre sobre superficie cilíndrica.....	43
Figura 30. Sistema de coordenadas UTM.....	45
Figura 31. Barrios de San Pedro de la Bendita (Girón y El Tingo).....	47
Figura 32. Barrios de San Pedro de la Bendita (El Limo, El Sauce (San Vicente), La Concha y Togueros).....	48
Figura 33. Flujograma para Encontrar la Demanda por Dotación Diaria.....	48
Figura 34. Flujograma para el Método de Caudal Instantáneo.....	50

Figura 35. Distribución de los Aparatos Sanitarios en Vivienda Tipo .....	51
Figura 36. Distribución de Aparatos Sanitarios de una Vivienda Tipo y Ubicación de Puntos de Análisis .....	55
Figura 37. Barrio Togueros y sus Mediciones .....	57
Figura 38. REDAP Actual .....	58
Figura 39. Ciudadela Oasis de Togueros .....	59
Figura 40. Ubicación de Puntos de Demanda.....	60
Figura 41. Coordenadas UTM y geográfica del Punto 1 en Google Earth Pro .....	61
Figura 42. Cota de Elevación del Punto 1 de Ejemplo .....	62
Figura 43. Planta de Tratamiento de Agua Potable de San Pedro de la Bendita .....	62
Figura 44. Propiedades de una Conexión 83 de Consumo .....	63
Figura 45. Ventana de Propiedades de Tuberías de Epanet.....	64
Figura 46. Simulación de una Válvula Reductora de Presión .....	65
Figura 47. Ruta y perfil de elevación de los puntos de demanda de la REDAP.....	67
.....	68
Figura 48. Colocación de demanda base medida en nudos de consumos.....	68
Figura 49. Disposición actual de la REDAP de Togueros.....	68
Figura 50. Mensajes de Error de la REDAP Actual .....	69
Figura 51. Simulación de la REDAP actual del sector Togueros simulando Presiones y Velocidades.....	69
Figura 52. REDAP actual del sector Togueros simulando Presiones y Velocidades .....	70
Figura 53. Distribución de la REDAP por el método per cápita, parte 1 .....	71
Figura 54. Distribución de la REDAP por el método per cápita, parte 2 .....	71
Figura 55. Simulación de la REDAP por el método per cápita, parte 1 .....	72
Figura 56. Simulación de la REDAP por el método per cápita, parte 2 .....	73

Figura 57. Perfil Longitudinal de Cota .....	74
Figura 58. Perfil Longitudinal de Presión modelo 1.....	75
Figura 59. Perfil Longitudinal de Presión modelo 2.....	75
Figura 60. Perfil Longitudinal de Presión modelo 3.....	76
Figura 61. Selección de Bomba Pedrollo.....	77
Figura 62. Colocación valores para graficar la curva característica de la Bomba en Epanet .....	78
Figura 63. Ventana de Propiedades de los Nudos.....	79
Figura 64. Ventana de Propiedades de las Tuberías .....	80
Figura 65. Simulación de RIDAP de vivienda tipo .....	81
Figura 66. Proyecto de factibilidad de dotación de agua potable en la ciudadela: Oasis de Togueros .....	84
Figura 67. Resultados alcanzados en la ciudadela Oasis de Togueros. ....	84

### **Índice de anexos.**

Anexo 1. Panta de Tratamiento de San Pedro de la Bendita .....	90
Anexo 2. Vivienda de la ciudadela Oasis Togueros .....	91
Anexo 3. Vivienda del sector Togueros.....	91
Anexo 4. Vivienda del sector Togueros.....	92
Anexo 5. Vivienda del Sector Togueros .....	93
Anexo 6. Granja de criadero de pollos.....	93
Anexo 7. Visita a vivienda donde se midió el caudal .....	93
Anexo 8. Visita a vivienda tipo del sector Togueros .....	94
Anexo 9. Tanque usado para medir el caudal de la vivienda tipo .....	95
Anexo 10. Tabla de propiedades del agua a distintas temperaturas en unidades del SI.....	96
Anexo 11. Tabla de equivalencia entre diámetros PVC y NPS.....	97
Anexo 12. Resultados de nudos de la REDAP .....	98

Anexo 13. Tabla de resultados de la simulación de las tuberías de la REDAP .....	104
Anexo 14. Plano de la vivienda tipo .....	109
Anexo 15. Plano del Sistema de Agua Potable de San Pedro de la Bendita.....	111
Anexo 16. Plano de ubicación de Puntos de Demanda en el Barrio Togueros.....	112
Anexo 17. Cálculos hidráulicos con una tubería de ½ in.....	113
Anexo 18. Certificado de Traducción del Resumen .....	129
Anexo 19. Memoria técnica.....	115

### **Índice de ecuaciones**

Ecuación 1.....	9
Ecuación 2.....	10
Ecuación 3.....	11
Ecuación 4.....	12
Ecuación 6.....	15
Ecuación 7.....	18
Ecuación 8.....	20
Ecuación 9.....	20
Ecuación 10.....	21
Ecuación 11.....	22
Ecuación 12.....	23
Ecuación 13.....	23
Ecuación 14.....	24
Ecuación 15.....	24
Ecuación 16.....	24
Ecuación 17.....	24
Ecuación 18.....	26

## Simbología

$N_R$  = Numero de Reynolds adimensional

$v$  = Velocidad del flujo en m/s

$D$  = Diámetro de la tubería en m

$\rho$  = Densidad del fluido en  $\text{Kg}/\text{m}^3$

$\eta$  = Viscosidad dinámica del fluido en  $\text{Pa}\cdot\text{s}$

$\vartheta$  = Viscosidad cinemática del fluido en  $\text{m}^2/\text{s}$

$\varepsilon$  = Rugosidad Absoluta en m

$h_p$  = Pérdida de energía debida a la fricción en m

$L$  = Longitud de la tubería en m

$f$  = Factor de fricción adimensional

$D/\varepsilon$  = Rugosidad relativa de la tubería adimensional

$h_s$  = Representa la pérdida menor en m

$K$  = Coeficiente de resistencia adimensional

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

$\frac{L_e}{D}$  = Relación de longitud equivalente adimensional

$f_T$  = Factor de fricción en la zona turbulenta adimensional

$P_f$  = Población futura en hab

$P_a$  = Población actual en hab

$i$  = Índice de crecimiento en %

$n$  = Número de años

$Q_m$  = Caudal medio en l/s

$D_f$  = Dotación Futura en  $\text{l}/\text{ha}\cdot\text{día}$

$r$  = Factor de fugas de agua en %

$Q_{MD}$  = Caudal máximo diario en l/s

$K_{MD}$  = Factor de mayoración máximo diario, adimensional

$Q_{MH}$  = Caudal máximo horario l/s

$K_{MH}$  = Factor de mayoración máximo horario, adimensional

$n$  = Número total de aparatos servidos

$k_S$  = Coeficiente de simultaneidad, adimensional

$F$  = Factor de Simultaneidad, adimensional

$P_H$  = Potencia Hidráulica en kW

$h_A$  = Carga total de la bomba en m

$\gamma$  = Peso específico del fluido en N/m<sup>3</sup>

$Q$  = Caudal del fluido en m<sup>3</sup>/s

$P$  = Presión en Pa

$Z$  = Altura Piezométrica m

$\eta_{tot}$  = Rendimiento total en %

$P_a$  = Potencia accionamiento en kW

$V$  = Volumen útil de la cisterna o deposito en l

$n_p$  = Número de personas por vivienda en hab

$Q_p$  = Es la dotación por habitante por día en l/hab\*día

$t$  = Tiempo en días

$A_{sum}$  = Altura suministrada en m.c.a

$P_{min}$  = Presión mínima en la acometida en m.c.a

$W_{thn}$  = Volumen total del tanque hidroneumático en l

$N_{bombas}$  = Número de bombas en funcionamiento

$N_{ciclos}$  = Número de ciclos por hora

$P_{ON}$  = Presión de encendido o arranque en m.c.a



$P_{OFF}$  = Presión de apagado o paro en m.c.a

$R_{aire}$  = Coeficiente que relaciona el tipo de renovación de aire adimensional

$Q_i$  = Caudal instantáneo l/s

$\sum Q_t$  = Caudal Total (sumatoria de caudales instantáneos) en l/s

$h_L$  = Perdida total en m

$Q_b$  = Caudal de la Bomba en l/s

## **1. Título**

**Diseño y simulación de la red externa de agua potable para el barrio Togueros, parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo, provincia de Loja.**

## 2. Resumen

El diseño de redes externas de agua potable-REDAP para poblaciones rurales resulta esencial para la dotación racional de agua en sectores donde el almacenamiento y posterior tratamiento son limitados.

El presente proyecto se enfoca en el diseño y simulación de una red externa de agua potable -REDAP para el sector Togueros, parroquia San Pedro de la Bendita, donde se caracterizó la demanda de caudal de los usuarios del sector Togueros, por dos métodos o normativas. La normativa INEN 5 dispuesta por SSA (Subsecretaría de Saneamiento Ambiental), describe una metodología basada en la dotación diaria por habitantes en sectores rurales o menores a 1000 habitantes aplicada a la REDAP, mientras que la segunda normativa NEC-11 se inclina en una metodología por caudal instantáneo de los aparatos sanitarios dispuestos en una vivienda tipo, es decir, en su RIDAP (red interna de agua potable). Se usó el software AutoCAD para ubicar los puntos de demanda de los usuarios y graficar la trayectoria de la red, conjuntamente se tomó imágenes satelitales con software Google Earth Pro donde se identificó la cota de elevación de dichos puntos.

Asimismo, con la intervención del software EpaCAD se transportó la REDAP al programa de Epanet, donde se simuló y analizó las redes de agua potable, obteniendo los diámetros de las tuberías adecuados según la regulación de la Normativa NEC-11, que propone presiones de acometida para las viviendas en el rango de 15 a 50 mca, mientras que la velocidad en las tuberías está entre 0.6 y 2.5 m/s. En los resultados se evidencia que los ramales H e I2 presentan bajas velocidades, lo cual conllevó a implementar un sistema de bombeo en la RIDAP de las viviendas de dichos ramales.

**Palabras claves:** Agua potable, bomba, Epanet, Google Earth Pro, REDAP, redes hidráulicas, RIDAP, zonas rurales.

## 2.1 Abstract

The design of external drinking water networks-REDAP for rural populations is essential for the rational provision of water in sectors where storage and subsequent treatment are limited.

This project focuses on the design and simulation of an external drinking water network - REDAP for the Togueros sector, San Pedro de la Bendita parish, where the demand for flow of the users of the Togueros sector was characterized by two methods or regulations. The INEN 5 regulation established by SSA (Undersecretariat of Environmental Sanitation), describes a methodology based on the daily allowance per inhabitants in rural sectors or less than 1000 inhabitants applied to REDAP, while the second NEC-11 regulation leans on a methodology by instantaneous flow of the sanitary devices arranged in a typical dwelling, that is, in its RIDAP (internal drinking water network). The AutoCAD software was used to locate the points of demand of the users and graph the trajectory of the network, together satellite images were taken from the Google Earth Pro software where the elevation of these points was identified.

Likewise, with the intervention of the EpaCAD software, REDAP was transported to the Epanet program, where the drinking water networks were simulated and analyzed. Obtaining the adequate diameters of the pipes according to the regulation of the NEC-11 Regulation, which proposes supply pressures for homes in the range of 15 to 50 mwc, while the velocity in the pipes is between 0.6 and 2.5 m / s. The results show that the H and I2 branches have low speeds, which led to the implementation of a pumping system in the RIDAP of the houses of these branches.

**Keywords:** drinking water, pump, Epanet, Google Earth Pro, REDAP, hydraulic networks, RIDAP, rural areas.

### 3. Introducción

La planta de agua potable de San Pedro de la Bendita se ubica al oeste de la parroquia, opera por gravedad gracias a su desnivel entre su ubicación y sus demandas, donde su caudal de abastecimiento es proporcionado de dos quebradas, la Concha y las Trancas que juntas suministran 6.8 l/s al pueblo (Equipo técnico de San Pedro de la Bendita, 2019).

El sector Togueros está ubicada al extremo este de la cabecera parroquial de San Pedro de la Bendita, al ser un sector alejado de la planta de tratamiento, presenta ciertos inconvenientes en el suministro de agua potable como: falta del recurso hídrico, incertidumbre, caudales y presión insuficientes, haciendo ineficiente al sistema ya existente.

Por tal razón, se ve en la necesidad de diseñar una nueva REDAP basándose en normativas nacionales, que permita abastecer constantemente de agua potable a todas las demandas del lugar, para evitar irregularidades presentes en la REDAP actual. Este proyecto presenta las siguientes etapas:

En la revisión bibliográfica del presente proyecto se aprecia la fundamentación científica de los temas relevantes sobre redes de distribución de agua potable, requisitos de diseño, software de diseño y simulación, ecuaciones de cálculos, etc.

Luego, la sección de materiales y métodos se describen las herramientas, ubicación de la zona de estudio, flujogramas, parámetros de cálculo de las normativas y uso de software específicos.

En la sección de resultados, se explica a través del análisis de la simulación de la REDAP y RIDAP mostradas en figuras y tablas, como también la selección de la bomba.

En la sección de discusión se presentan otros trabajos realizados en la misma área, donde se realiza una comparativa evaluando su acogida.

En la sección de conclusiones se extrajo una deducción a cada objetivo específico, mientras que en la sección de recomendaciones se muestran sugerencias apropiadas en el proyecto, la sección de bibliografía se evidencia los libros, textos y recursos de internet ocupados en el documento.

Finalmente, en la sección de anexos se observa archivos como: imágenes, planos y tablas. Además, el proyecto abordó los siguientes objetivos:

## **Objetivo General**

Rediseñar red de distribución externa de agua potable del sector Togueros, parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo.

## **Objetivos Específicos**

- Caracterizar la demanda de caudal en el sector Togueros de San Pedro de la Bendita.
- Actualizar el estudio topográfico de la REDAP del sector Togueros de manera que se ubique los puntos de demanda de caudal.
- Simular los parámetros hidráulicos y energéticos de la red externa de agua potable, de que se optimice su uso.

## 4. Marco Teórico

### 4.1 Generalidades

#### 4.1.1 Red de Distribución

García (2006) afirma que la red de distribución “Es la agrupación de una serie de tuberías que transportan el agua de un punto 1 de alimentación a un punto 2 de consumo, conservando factores cuantitativos y cualitativos adecuados”.

#### 4.1.2 Tipos de redes

**Redes Abiertas:** Se asemeja a las ramas de un árbol, se caracteriza por tener solo un recorrido desde un inicio a un final, en este caso se lo conoce como redes de regadío. Si se desea calcular el caudal en una línea, se aplica la ecuación de continuidad en cada nudo (García, 2006). Saldarriaga (2007) afirma: “ejemplos de redes abiertas son sistema de tuberías que une una batería de pozos de agua con una planta de tratamiento, sistema de conectado por una tubería principal y las tuberías secundarias en un sistema de riego” (véase figura 1).

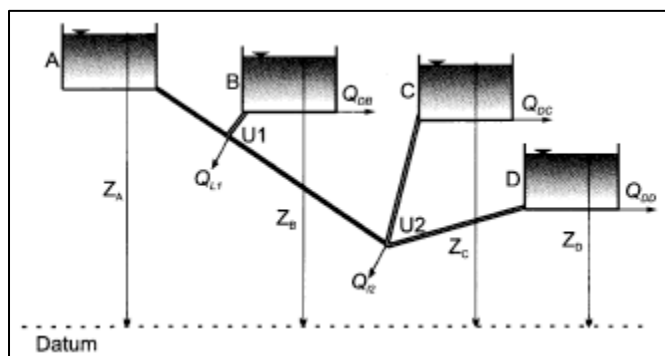


Figura 1. Red Abierta

*Nota. Fuente: (Saldarriaga, 2007)*

**Redes Cerradas:** Están agrupadas por varias líneas que dan circuitos de lazos cerrados. Nos ofrecen mayor confiabilidad que las redes abiertas, debido a que tienen distintos caminos para llegar al punto de consumo. Así mismo, las presiones tienden a autoequilibrarse sin necesidad de infraestructuras (García, 2006). Saldarriaga (2007) afirma: “El objetivo de estas redes es tener un sistema redundante o por ciclos que permiten cubrir cualquier zona del sistema. Estos tipos de sistemas son muy usados en sistemas de agua potable en ciudades”. Véase figura 2.

No es posible calcularlas tan solo con la ecuación de la continuidad, ya que es más compleja, por lo tanto, es imprescindible tenerlas modelizadas (García, 2006).

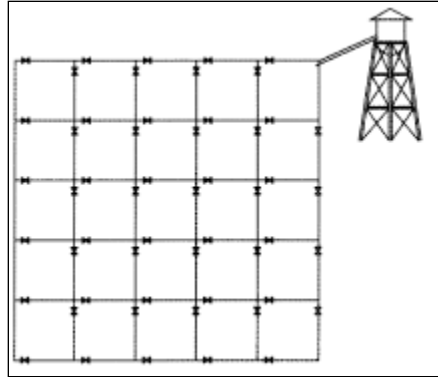


Figura 2. Red Cerrada

Nota. Fuente: (Saldarriaga, 2007)

**Redes Dentríticas:** Redes que se usan en sistemas de riego, las tuberías se dividen constantemente para cubrir todo el terreno, véase Figura 3 (Saldarriaga, 2007).

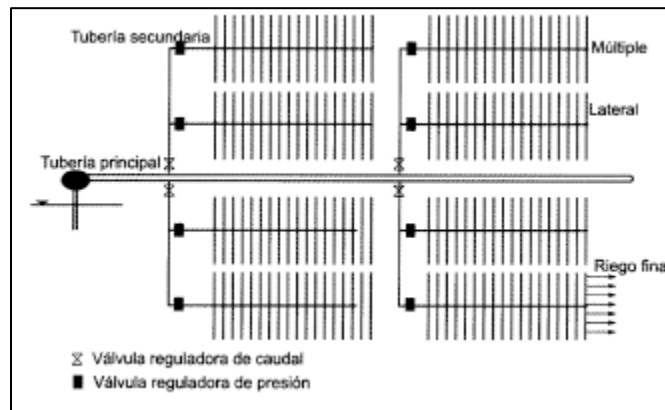


Figura 3. Red Dentrítica de Riego

Nota. Fuente: (Saldarriaga, 2007)

#### 4.1.3 Representación física de la red

- **Elemento:** Son accesorios que van incluidos en la red y tienen un comportamiento hidráulico específico. Las redes hidráulicas poseen gran cantidad de elementos, inclusive para mejorar la modelación se las reúne en líneas (García, 2006). Saldarriaga (2007) afirma: “hasta la red más simple consta de un tubo, fuente de agua y un nodo de demanda, además las redes más complejas manejan siete tipos de elementos diferentes como accesorios, emisores, válvulas o bombas hidráulicas.”
- **Líneas:** Separadas por nudos son un conjunto de elementos que están representadas por una sola ecuación común.

Los componentes de la red representados por líneas son los siguientes:



**Tuberías:** Cilindro uniforme caracterizado por transportar fluidos. Durante la simulación mediante el software EPANET se considera que las tuberías están llenas de fluido todo el momento. Es decir, el flujo es a presión. Además, el flujo viajará de un nudo de mayor altura piezométrica a uno de menor.

**Válvulas:** Saldarriaga (2007) afirma que las válvulas: “son accesorios de las tuberías que cambian la relación entre la altura piezométrica y el caudal”, mientras que García (2006) afirma que: “su principal función es limitar la presión o el caudal en un punto de la red según la estipulación de cada tipo de válvula.”

- **Válvulas Reductores de Presión (VRP):** Válvula usada cuando la presión de agua abajo es mayor a la requerida, misma que debe estar medianamente cerrada para no superar al valor de la consigna. Además, si la altura piezométrica es mayor aguas abajo que aguas arriba, se debe activar esta válvula para evitar el contraflujo.
- **Accesorios:** Se caracterizan por ser representadas con coeficientes de pérdidas dentro de la tubería donde van ubicadas (García, 2006).
- **Nudos:** Son los lugares donde se conectan dos o más líneas, delimitándose el contorno del problema.

Se representan como nudos los siguientes componentes:

- **Nudos de Caudal:** Son puntos donde entra y salen agua, asociados con la medición de demandas. Además, son donde ingresan contaminantes a la red.
- **Embalses:** Son los surtidores externos de alimentación o fuentes. Generalmente reconocidos como ríos, lagos, acuíferos, debido a su naturaleza no se ven afectados por lo que ocurra en la red. Saldarriaga (2007) afirma: “que son fuente de agua cuya altura piezométrica es fija.”
- **Depósitos:** Son el almacenamiento del agua a la salida de la red, mismo que tienen capacidad limitada. EPANET limita la entrada de agua al depósito si su nivel se encuentra máximo o mínimo.

Además de los componentes ya definidos, EPANET necesita componentes no físicos para describir el comportamiento y forma de operación del sistema. Estos son:

**Curvas de Comportamiento:** Identifican la relación entre dos variables. Son el caso de curvas características (altura-caudal), de rendimiento (rendimiento-caudal) de ubicación de embalses (volumen-caudal) o de pérdidas en válvulas de propósito general (pérdidas-caudal).

**Curvas de Modulación o Patrones:** Son variables que cambian en relación con el tiempo. Es recomendable que exista secuencia en factores que se multipliquen por estas variables para obtener datos reales. Existen dos leyes:

- **Leyes de Control Simples:** cambian el estado o la consigna de una línea según:
  - ✓ El nivel de agua en un depósito
  - ✓ Presión en un nudo
  - ✓ El instante de la simulación
  - ✓ La hora del día
- **Leyes de Control Basadas en Reglas:** controlan el estado de líneas o consignas según una combinación de situaciones que pueda darse en la red (García, 2006).

## 4.2 Pérdidas de Energía Primarias y Secundarias

### 4.2.1 Número de Reynolds

Giles, Evett y Liu, (1994) aseguran ser un grupo adimensional, que resulta del coeficiente de fuerzas de inercia por las fuerzas debidas a la viscosidad.

Si el número de Reynolds es menor a 2000, el flujo es laminar. Si el número de Reynolds es mayor a 4000, el flujo es turbulento. En el rango de 2000 y 4000 es imposible saber a qué régimen pertenece, por esto se lo conoce como región crítica. La Ecuación 1 sirve para calcular el número de Reynolds.(Mott y Untener, 2015)

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{vD}{\nu} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$N_R$ : número de Reynolds

$v$ : velocidad del flujo

$D$ : diámetro de tubería

$\rho$ : Densidad del fluido

$\eta$ : viscosidad dinámica del fluido

$\nu$ : viscosidad cinemática del fluido.

#### 4.2.2 Ecuación de Darcy para la pérdida de energía primaria

$$h_p = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$h_p$ : Pérdida de energía debida a la fricción (N\*m/N, m, ft/lb o ft)

$L$ : longitud de la tubería (m o ft)

$D$ : diámetro de la tubería (m o ft)

$v$ : velocidad de flujo promedio

$f$ : factor de fricción (adimensional)

La Ecuación 2 de Darcy puede emplear para calcular la pérdida de energía debida a fricción en las secciones rectas y largas de tubería, tanto para flujo laminar y turbulento. (Mott y Untener, 2015)

#### 4.2.3 Pérdida por fricción o Primaria en el Flujo Turbulento

El flujo Turbulento es bastante impredecible, mismo que debe valerse de datos experimentales para los valores del factor de fricción ( $f$ ).

Los ensayos han demostrado que el valor de  $f$  obedece a dos valores adimensionales como son número de Reynolds y rugosidad relativa. La rugosidad relativa depende del diámetro de la tubería  $D$  y la rugosidad promedio  $\epsilon$  (letra griega épsilon) de la pared de la tubería. En la Tabla 1 se muestra los valores de la rugosidad promedio de distintos materiales de tuberías.

Tabla 1 . Rugosidad de la tubería

Material	Rugosidad $\epsilon$ (m)	Rugosidad $\epsilon$ (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-6}$
Tubo Estirado, cobre, latón, acero	$1.5 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4.6 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1.5 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil - revenido	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil – sin revestir	$2.4 \times 10^{-4}$	$8.0 \times 10^{-4}$
Concreto, bien hecho	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1.8 \times 10^{-3}$	$6.0 \times 10^{-3}$

Nota. Fuente: (Mott y Untener, 2015)

Además, se muestra una Tabla 2 de rugosidad absoluta dispuesta por la bibliografía de Saldarriaga (2016).

Tabla 2. Rugosidad Absoluta de Distintos Materiales

Rugosidad Absoluta	
Material	$k_s$ (mm)
Vidrio	0.0003
PVC, CPVC	0.0015
Asbesto cemento	0.03
GRP	0.03
Acero	0.046
Hierro forjado	0.06
CCP	0.12
Hierro fundido asfaltado	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla vitrificada	0.15
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Madera cepillada	0.18 a 0.90
Concreto	0.30 a 3.00
Acero bridado	0.90 a 9.00

*Nota. Fuente: (J. Saldarriaga, 2016)*

Por otro lado, existe una fórmula desarrollada por Prabhata K. Swamee y Akalank K. Jain para determinar el factor de fricción ( $f$ ) expresada en la ecuación 3, misma que se encuentra entre  $\pm 1$  por ciento dentro del rango de la rugosidad relativa  $D/\varepsilon$  a partir de 100 hasta  $1 \times 10^6$  y para el número de Reynolds desde  $5 \times 10^3$  hasta  $1 \times 10^8$ . Exactamente en la región de turbulencia (Mott & Untener, 2015).

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$f$ : Factor de fricción en la zona turbulenta.

$D/\varepsilon$ : Rugosidad relativa de la tubería.

$N_R$ : Número de Reynolds.

La ecuación (3), es una ecuación explícita a la ecuación de Colebrook-White formulada en (1937, 1939), misma que presenta un método iterativo para la obtención de  $\lambda$  conocido como coeficiente de rozamiento, descrita en la ecuación 4.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{N_R \sqrt{\lambda}} \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$\lambda$ : Factor de rozamiento

$\frac{k}{D}$ : Rugosidad relativa

$N_R$ : Número de Reynolds.

#### **4.2.4 Diagrama de Moody**

Uno de los procedimientos más usados para determinar el factor de fricción tanto para el régimen laminar como turbulento es el diagrama de Moody (véase figura 4). Este diagrama relaciona el número de Reynolds, con una gama de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa  $D/\varepsilon$ . Estas se obtuvieron por datos experimentales.

Dentro de la zona de turbulencia completa, el número de Reynolds no tiene ninguna variación sobre el factor de fricción.

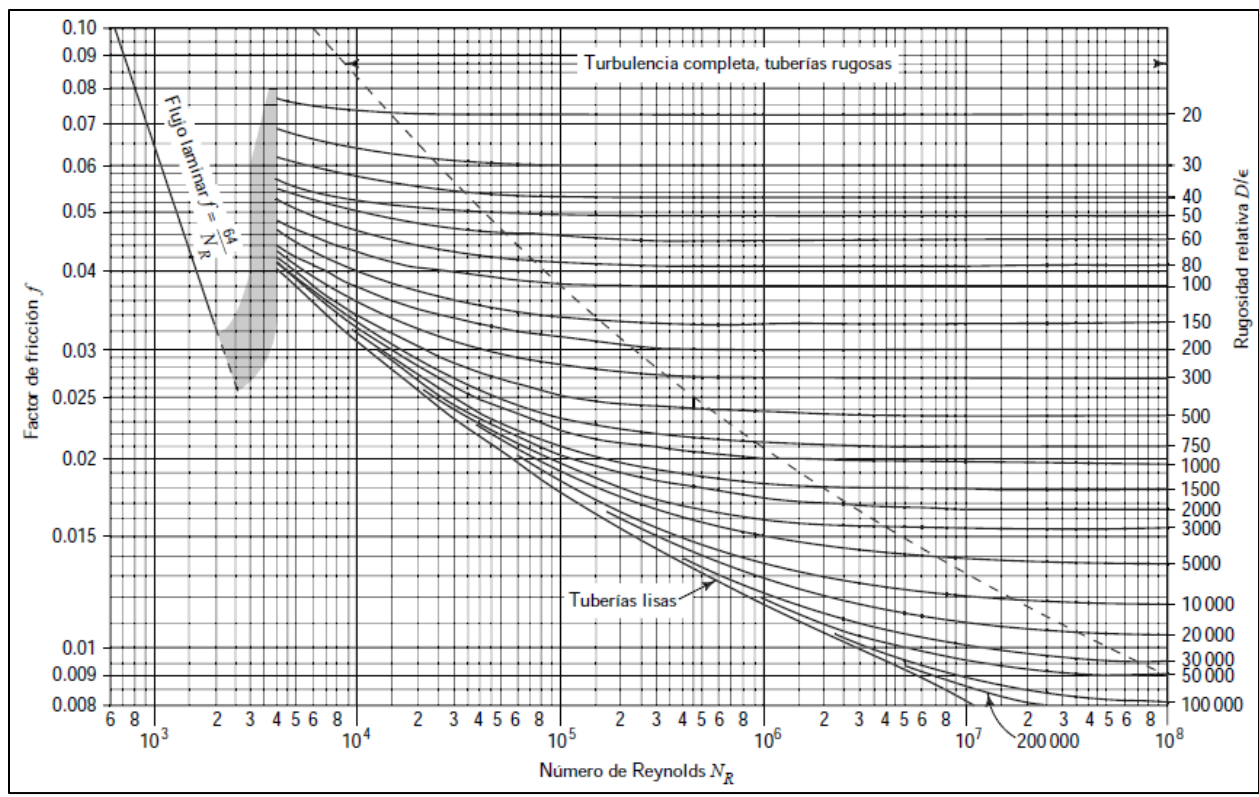


Figura 4. Diagrama de Moody

Nota. Fuente: (Mott y Untener, 2015)

**4.2.5 Pérdidas Menores o Secundarias**

Las pérdidas de energía son proporcionales a la carga de velocidad de un fluido a través de un codo, ampliación, contracción o una válvula. Por lo General, estos valores se los representa como un coeficiente de resistencia  $K$ , de la siguiente manera:

Pérdida menor usando un coeficiente de resistencia, misma que se observa en la ecuación 5.

$$h_s = K \left( \frac{v^2}{2g} \right) \tag{5}$$

Donde,  $h_s$  representa la pérdida menor,  $K$  el coeficiente de resistencia y  $v$  la velocidad de flujo promedio en la tubería.

- **Pérdida de entrada**

El fluido pasa de estar en reposo en el depósito hasta una velocidad de flujo en la tubería, esto genera una gran pérdida de energía, por lo tanto, el coeficiente de resistencia de entrada depende de la geometría de la entrada, véase en la figura 5.

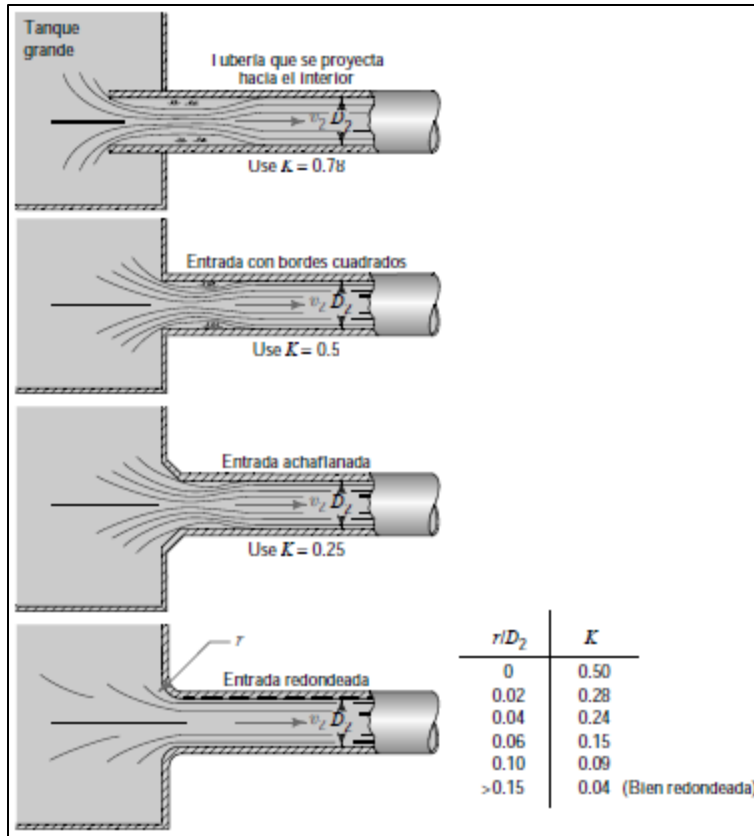


Figura 5. Coeficientes de Resistencia de Entrada

Nota. Fuente: (Mott y Untener, 2015)

- **Coeficiente de resistencia para Válvulas y Accesorios**

Las válvulas se utilizan para controlar el flujo y pueden ser de globo, ángulo, compuerta, mariposa, entre otras. Los accesorios guían la trayectoria del flujo o cambian el tamaño de la trayectoria del flujo, presentando todas estas pérdidas de energía tanto de válvulas y accesorios en las figuras 6 a la 11.

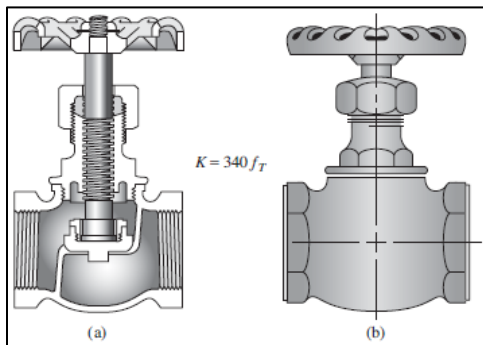


Figura 6. Válvula de Globo

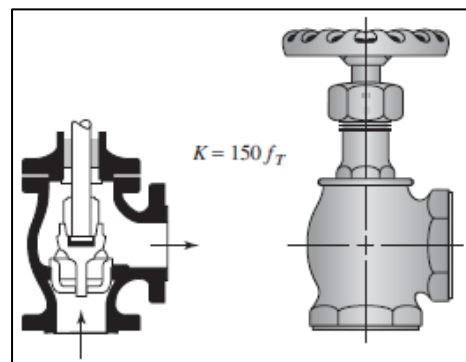


Figura 7. Válvula de Ángulo.

Nota. Fuente: (Mott y Untener, 2015)

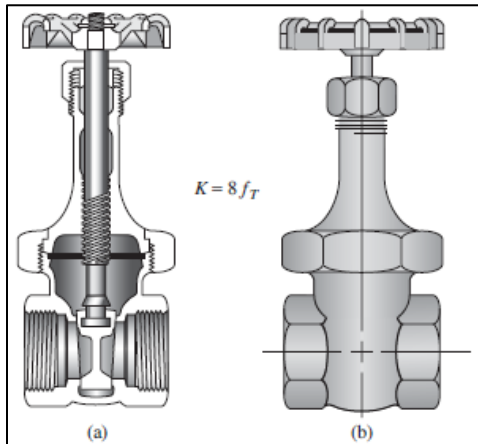


Figura 8. Válvula de Compuerta

Nota. Fuente: (Mott y Untener, 2015)

Nota. Fuente: (Mott y Untener, 2015)

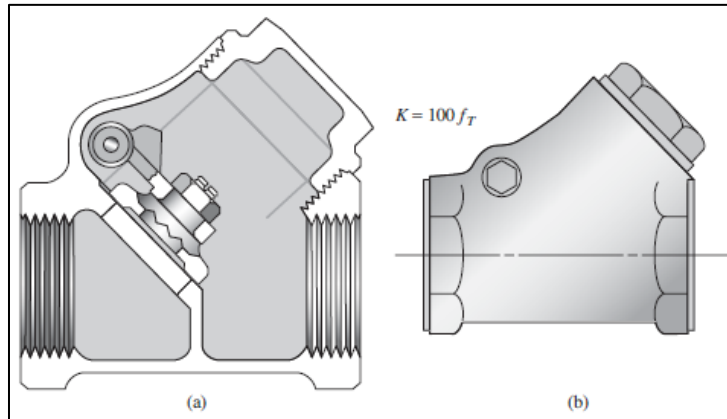


Figura 9. Válvula de Retención

Nota. Fuente: (Mott y Untener, 2015)

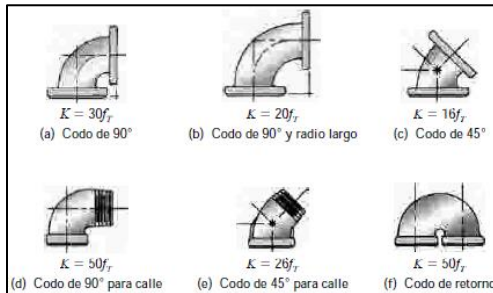


Figura 10. Codos de Tubería

Nota. Fuente: (Mott y Untener, 2015)

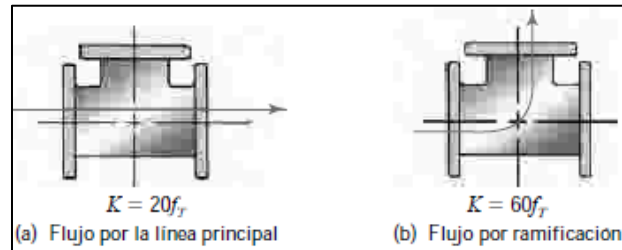


Figura 11. Tes Estándar

Nota. Fuente: (Mott y Untener, 2015)

La pérdida de energía que experimenta el fluido a medida que fluye a través de una válvula o un accesorio se calcula con la siguiente Ecuación 6:

$$K = \left(\frac{L_e}{D}\right) f_T \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde  $\frac{L_e}{D}$  se le llama relación de longitud equivalente, misma que se presenta en la tabla 3. Los valores de  $f_T$  varían con el tamaño de la tubería y la válvula, lo cual el factor  $K$  también va a variar. (Mott y Untener, 2015).

Tabla 3. Resistencia en válvulas y accesorios expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería $L_e/D$
Válvula de globo - totalmente abierta	340



Válvula de ángulo - totalmente abierta	150
Válvula de compuerta – totalmente abierta	8
- abierta $\frac{3}{4}$	35
abierta $\frac{1}{2}$	160
abierta $\frac{1}{4}$	900
Válvula de retención – tipo oscilante	100
Válvula de retención – tipo bola	150
Válvula de mariposa – totalmente abierta, 2-8 in	45
10-14 in	35
16-24 in	25
Válvula de pie – tipo vástago	420
Válvula de pie – tipo bisagras	75
Codo estándar de 90°	30
Codo de 90 ° y radio largo	20
Codo de 90 ° para calle	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de 45° para calle	26
Doble de retorno cerrado	50
Te estándar – con flujo por la línea principal	20
- con flujo por la ramificación	60

*Nota. Fuente: (Mott y Untener, 2015)*

En la literatura de Saldarriaga (2016) se muestra una tabla 4 simplificada de las constantes de pérdidas  $k_m$ , para diferentes accesorios.

Tabla 4. Constante de pérdidas por accesorios

Constantes de aditamentos o accesorios	
Aditamento	$k_m$
Válvula de globo, completamente abierta	340
Válvula de ángulo, completamente abierta	150
Válvula de cheque	2.50
Válvula de compuerta, completamente abierta	8
Válvula de compuerta, con $\frac{3}{4}$ de apertura	35
Válvula de compuerta, con $\frac{1}{2}$ de apertura	160
Válvula de compuerta, con $\frac{1}{4}$ de apertura	900
Codo de radio corto	100
Codo de radio medio	150
Codo de radio largo	45
Codo de 45°	35
Retorno (curva en U)	25
Tee de paso directo	420
Tee de paso de lado	75

Unión	30
Ye de 45° de paso directo	20
Ye de 45 ° de paso de lado	50
Entrada con boca acampanada	16
Entrada con tubo entrando a tanque	26
Salida	50

---

*Nota. Fuente: (J. Saldarriaga, 2016)*

### **4.3 Requisitos de Diseño**

#### ***4.3.1 Diámetros de las tuberías de la red de distribución***

En ciudades pequeñas o rurales se debe colocar tuberías pequeñas de 50 o 75 mm de diámetro si la longitud no sobrepasa los 100 m y es un tramo final. Mientras si está conectada a los dos extremos del sistema, la longitud será de 200 m. Se debe evadir los puntos muertos del sistema (sellos finales), puesto que el abastecimiento es menos confiable y acarrea disminución de la calidad del agua en la red (Saldarriaga, 2007).

#### ***4.3.2 Presiones de las tuberías de la red de distribución***

La Asociación Americana de Obras de Agua (American Water Works Association, AWWA) recomienda para ciudades pequeñas un rango de presión entre 15 a 30 mca (150 a 300 kPa). Si es que existiera un edificio que requiera una presión mayor, debería crear su propio sistema de aumento de presión para lograr sus requerimientos de servicio.

Considerando lo anterior, se debe obtener información de la zona de estudio y establecer la presión requerida en cada uno de los nodos de la red de abastecimiento. Siendo uno de los principales datos para el cálculo de la red de distribución (Saldarriaga, 2007).

Mientras tanto la (NEC, 2011) afirma: “Si la presión de abastecimiento en la red es insuficiente, se debe considerar implementar un sistema de bombeo de tanque bajo o alto mediante un equipo de presión. Además, la presión en cualquier nodo no deberá ser mayor a 50 mca (490 kPa).”

### 4.3.3 Demanda de caudal en las tuberías de la red de distribución

Para los caudales de zonas residenciales, se relacionan con la densidad de población a la que están sujetas. En zonas desarrolladas, se puede aproximar el valor de demanda de caudal, dependiendo de los aparatos sanitarios que dispongan. Además, otro método para encontrar esta aproximación de consumo, si no se posee datos de censo poblacional, se puede usar la curva pico de consumo diario, y así estimar para diseñar la red (Saldarriaga, 2007).

#### 4.3.3.1 Demanda de caudal por el método de Dotación Diaria (INEN 5).

Si se considera a la densidad poblacional se tiene la normativa CPE INEN 5 dispuesto por la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental -SSA, donde se establece lo siguiente:

- **Período de diseño.** Lapso durante el cual la obra cumple su función satisfactoriamente. Las obras civiles de los sistemas de agua potable o disposición de residuos líquidos se diseñarán para un período de 20 años, en ningún caso la población futura será mayor que 1,35 veces la población presente.
- **Vida útil.** Lapso de tiempo, luego del cual la obra o equipo debe ser reemplazado.
- **Población futura o de diseño.** Número de habitantes que se espera tener al final del período de diseño, para el cálculo de la población futura se harán proyecciones de crecimiento usando cualquier de los cuatro métodos: proyección aritmética, geométrica, incrementos diferenciales y comparativo. Además, para los índices de crecimiento poblacional se toman los valores mostrados en la siguiente tabla 5.

Tabla 5. Tasas de Crecimiento Poblacional

Región Geográfica	r (%)
Sierra	1.0
Costa	1.5

*Nota. Fuente: (INEN, 1997)*

Con el uso de la proyección geométrica expresada en la siguiente ecuación 7 se puede conocer la población futura.

$$P_f = P_a * (1 + i)^n$$

Ecuación 7

Donde:

$P_f$ : Población futura

$P_a$ : Población actual

$i$ : Índice de crecimiento

$n$ : Número de años

- **Nivel de servicio.** Grado de facilidad y comodidad con el que los usuarios acceden al servicio que les brindan los sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas o residuos líquidos, ilustrado en la tabla 6.

Tabla 6. Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos

Nivel	Sistema	Descripción
0	AP DE	Sistemas individuales. Diseñar de acuerdo con las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económicas del usuario.
la	AP DE	Grifos públicos Letrinas sin arrastre de agua
lb	AP DE	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño. Letrinas con o sin arrastre de agua.
lla	AP DE	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa. Letrinas con o sin arrastre de agua
llb	AP DRL	Conexiones domicilias, con más de un grifo por casa. Sistema de alcantarillado sanitario.

Simbología utilizada:

AP: Agua potable

DE: Disposiciones de excretas

DRL: Disposición de residuos líquidos

*Nota. Fuente: (INEN, 1997)*

- **Dotaciones:** Cantidad de agua potable, consumida diariamente por cada habitante y depende del nivel de servicio, señalada en la tabla 7.

Tabla 7. Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio

Nivel de servicio	Clima Frío (L/hab*día)	Clima Cálido (L/hab*día)
la	25	30
lb	50	65
lla	60	85
llb	75	100

Nota. Fuente: (INEN, 1997)

- **Caudal medio anual.** Caudal de agua, incluyendo pérdidas por fugas, consumido en promedio, por la comunidad. Calculado con la siguiente ecuación (8):

$$Q_m = r * \frac{P_f * D_f}{86400} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$Q_m$ : Caudal medio (l/s)

$P_f$ : Población Futura (ha)

$D_f$ : Dotación Futura (l/ha\*día)

$r$ : Cantidad no registrado de agua, pérdida por escape del sistema o fugas (adimensional), determinada por la siguiente tabla 8.

Tabla 8. Porcentaje de fugas a considerarse en el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable

Nivel de Servicio	Porcentaje de Fugas
la y lb	10 %
lla y llb	20 %

Nota. Fuente: (INEN, 1997)

- **Caudal máximo diario.** Caudal medio consumido por la comunidad en el día de máximo consumo en el año. Expresado en la siguiente ecuación 9.

$$Q_{MD} = K_{MD} * Q_m \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$Q_{MD}$ : Caudal máximo diario (l/s)

$K_{MD}$ : Factor de mayoración máximo diario, el cual tiene un valor de 1.25 para todos los niveles de servicio.

- **Caudal máximo horario.** Caudal de agua consumido por la comunidad durante la hora de máximo consumo en un día del año. Expresado en la siguiente Ecuación 10 (INEN, 1997).

$$Q_{MH} = K_{MH} * Q_m \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

$Q_{MH}$ : Caudal máximo horario (l/s)

$K_{MH}$ : Factor de mayoración máximo horario, tiene un valor de 3 para todos los niveles de servicio.

#### 4.3.3.2 Demanda de caudal por el método de caudal instantáneo para la RIDAP.

Mientras que la metodología dispuesta por la normativa NEC-11 señala que las velocidades en la RIDAP (red interna de agua potable) debe oscilar entre 0.6 m/s y 2.5 m/s, se considera óptimo el valor de velocidad de 1.2 m/s. Mientras que para la velocidad del agua en la acometida (REDAP) debe ser aproximadamente de 1.5 m/s (NEC, 2011).

La normativa NEC-2011 establece los valores mínimos y recomendados de caudal, presión y diámetro para satisfacer de agua a los accesorios sanitarios de un hogar (ver tabla 9).

Tabla 9. Norma Hidrosanitaria NHE Agua

Aparato sanitario	Caudal instantáneo mínimo (l/s)	Presión		Diámetro según NTE INEN 1369 (mm)
		Recomendada (m.c.a)	Mínima (m.c.a)	
Bañera / tina	0.30	7.0	3.0	20

Bidet	0.10	7.0	3.0	16
Calentadores/calderas	0.30	15.0	10.0	20
Ducha	0.20	10.0	3.0	16
Fregadero cocina	0.20	5.0	2.0	16
Fuentes para beber	0.10	3.0	2.0	16
Grifo para manguera	0.20	7.0	3.0	16
Inodoro con depósito	0.10	7.0	3.0	16
Inodoro con fluxor	1.25	15.0	10.0	25
Lavado	0.10	5.0	2.0	16
Máquina de lavar ropa	0.20	7.0	3.0	16
Máquina de lavar vajilla	0.20	7.0	3.0	16
Urinario con fluxor	0.50	15.0	10.0	20
Urinario con llave	0.15	7.0	3.0	16
Sauna, turco, o hidromasajes domésticos	1.00	15.0	10.0	25

*Nota. Fuente: (NEC, 2011)*

- **Factor de Simultaneidad**

Ya que los aparatos sanitarios no funcionan todos a la vez, la normativa NEC-11 considera un factor de simultaneidad ( $k_S$ ) que se calculará con la ecuación 11.

$$k_S = \frac{1}{\sqrt{n-1}} + F * (0.04 + 0.04 * \log(\log(n))) \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

n = número total de aparatos servidos

$k_S$  = coeficiente de simultaneidad, entre 0.2 y 1.0

F = factor que toma los siguientes valores:

F = 0, según Norma Francesa NFP 41204

F = 1, para edificios de oficinas y semejantes

F = 2, para edificios habitacionales

F = 3, hoteles, hospitales y semejantes

F = 4, edificios académicos, cuarteles y semejantes

F = 5, edificios e inmuebles con valores de demanda superiores (NEC, 2011).

#### 4.4 Sistema de Bombeo

Para el diseño de sistemas de bombeo es fundamental conocer la ecuación de la energía, usando puntos de referencia (ecuación 12).

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde los primeros tres términos del lado izquierdo de la ecuación significan la energía del fluido en el punto 1, expresados en carga de presión, carga de elevación y carga de velocidad, respectivamente. De igual forma para el lado derecho de la ecuación, pero para el punto 2 (ver figura 12).

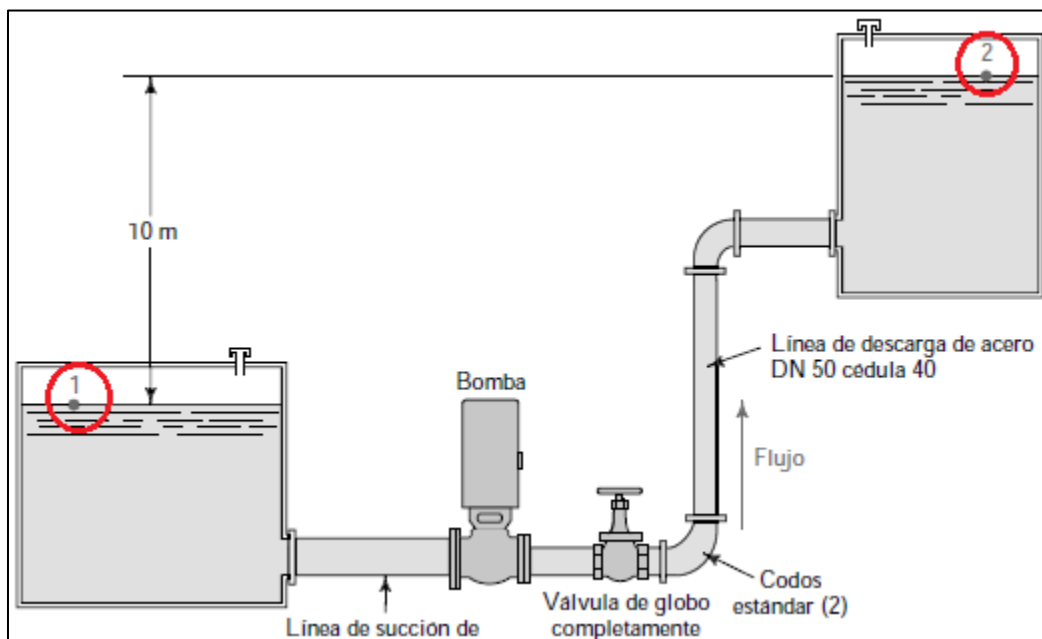


Figura 12. Puntos de Referencia para un Sistema de Bombeo

Nota. Fuente: (Mott & Untener, 2015)

La variable  $h_L$  es la pérdida total debido a pérdidas primarias y secundarias entre los dos puntos de referencia,  $h_A$  es la carga total de la bomba, que representa la energía que la bomba añade al fluido, es un dato indispensable para seleccionar una bomba. En la ecuación 13 se la despeja de la ecuación 12, dando:

$$h_A = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L \quad \text{Ecuación 13}$$

Para calcular la potencia hidráulica requerida se aplica la ecuación 14:



$$P_H = h_A * \gamma * Q \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

$P_H$ : Potencia Hidráulica (kW)

$h_A$ : Carga total de la bomba (m)

$\gamma$ : Peso específico del fluido (N/m<sup>3</sup>)

$Q$ : Caudal del fluido (m<sup>3</sup>/s) (Mott & Untener, 2015)

Finalmente, para conocer la eficiencia de la bomba se expresa con la ecuación 15.

$$\eta_{tot} = \frac{P_H}{P_a} * 100 \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

$\eta_{tot}$ : Rendimiento total (%)

$P_H$ : Potencia hidráulica o útil (kW).

$P_a$ : Potencia accionamiento, potencia en el eje o potencia absorbida (kW) (Mataix, 2006).

Por otro lado, según la figura 12, el sistema necesita un depósito de abastecimiento de fluido a la bomba, la cual se calcula con la ecuación 16:

$$V = n_p * Q_p * t \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

$V$ : Volumen útil de la cisterna o depósito (l)

$n_p$ : Número de personas por vivienda (hab).

$Q_p$ : Es la dotación por habitante por día, vista en la tabla 7 (l/hab\*día)

$t$ : Tiempo estimado 1 día o 24 horas.

#### ***4.4.1 Suministros que requieren equipos para inyección de presión***

Es necesario la incorporación de equipos para la inyección de presión (grupo motor-bomba) aquellas viviendas que sobrepasen el valor de altura suministrada (altura geodésica que se puede servir sin sistema hidroneumático), descrita en la ecuación (17).

$$A_{sum} = P_{min} - 15 \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$A_{sum}$ : Altura suministrada (m.c.a)

$P_{min}$ : Presión mínima en la acometida (m.c.a)

Si el valor de la altura suministrada ( $A_{sum}$ ) es menor que cero, ósea, si el valor de la presión mínima ( $P_{min}$ ) es menor que 15 m.c.a, entonces se necesita ubicar un sistema hidroneumático.

Mientras que si el techo de vivienda se ubica debajo de la altura suministrada se puede alimentar directamente de la red.

#### 4.4.2 Características del grupo motor-bomba-hidroneumático

- Se recomienda ubicar el equipo para la inyección de presión en un lugar independiente, accesible para acciones de operación y mantenimiento. Además, que permite aislar el ruido.
- Las acciones de encendido y apagado las controla el sensor de presión o presostato que las mantendrá entre un rango de presiones, donde la presión mínima o de encendido va a ser de al menos 15 m por arriba de la altura del techo. Mientras que la presión máxima o apagado va a ser de hasta 20 m por arriba de la presión mínima o de encendido.
- Los criterios para elegir una bomba se ajustan a la altura manométrica y caudal requerido para el suministro.
- El caudal de arranque de la bomba (a presión mínima) debe ser mayor que el caudal punta de suministro.
- Alternar el funcionamiento de las bombas.
- El número máximo de arranques y paros del grupo motor-bomba debe de estar referido a lo estipulado en la tabla 10.

Tabla 10. Ciclos por hora de encendido y apagado del grupo motor-bomba

Potencia (HP)	Máximo número de Ciclos/hora	Tiempo mínimo (minutos)
Hasta 10.0	20	3
De 10.0 a 20.0	15	4
De 20.0 a 30.0	12	5
De 30.0 a 50.	10	6
Desde 50.0	6	10

Nota. Fuente: (NEC, 2011)

El número de ciclo se reducirá cuando se coloque una bomba de velocidad variable, en tal caso se considera las propuestas del fabricante.

Para el cálculo del volumen del equipo hidroneumático se usa la ecuación 18:

$$W_{thn} = \frac{19 * R_{aire} * Q_b * (P_{OFF} + 10.33)}{N_{bombas} * N_{ciclos} * (P_{OFF} - P_{ON})} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

$W_{thn}$ : Volumen total del tanque hidroneumático, (l)

$Q_b$ : Caudal de bombeo medio, (l/min)

$N_{bombas}$ : Número de bombas en funcionamiento (excepto la de reserva)

$N_{ciclos}$ : Número de ciclos por hora

$P_{ON}$ : Presión de encendido o arranque (m.c.a)

$P_{OFF}$ : Presión de apagado o paro (m.c.a)

$R_{aire}$ : Coeficiente que relaciona el tipo de renovación de aire.

$R_{aire}$ : 1.0, para hidroneumático de membrana con revisión periódica de la masa de aire

$R_{aire}$ : 1.5, para renovación de aire con compresor automático

$R_{aire}$ : 2.0, para renovación de aire mediante inyección manual

#### **4.5 División del Consumo de Agua Potable**

En la Figura 13 se presenta la división del consumo de agua según sectores: Doméstico y no doméstico. Asimismo, el sector no doméstico se divide en comercial, industrial y servicios públicos.

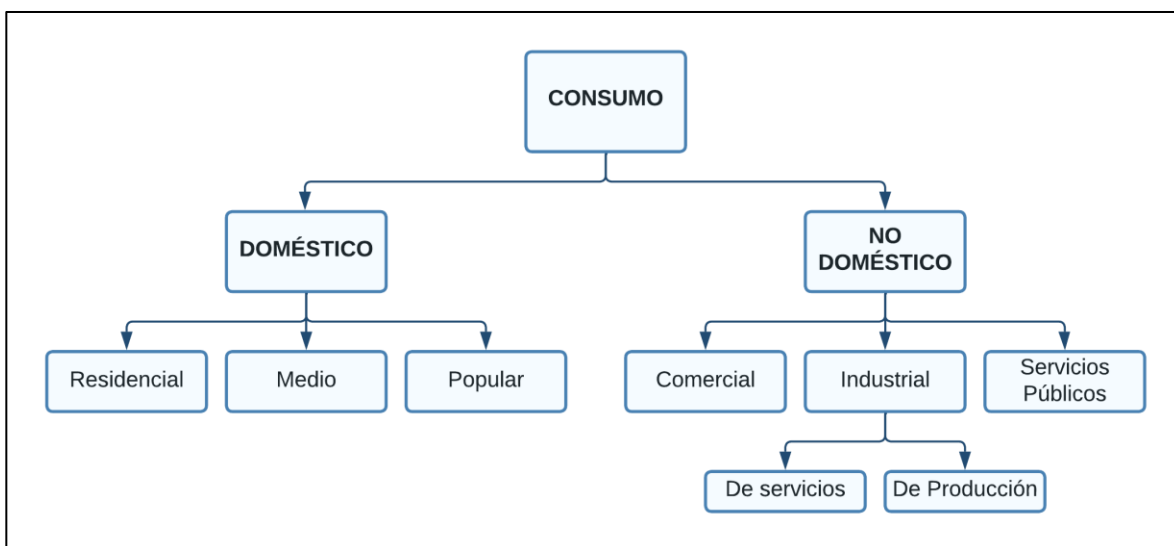


Figura 13. Gráfica de división de consumos

Nota. Fuente: (Jiménez, n.d.)

#### 4.5.1 Consumo Doméstico

Es la cantidad de agua que se usa en las viviendas, constatando la clase socioeconómica de los usuarios y cambia dependiendo de diferentes adversidades como la presión, existencia de alcantarillado sanitario y costo del agua. A su vez se subdivide de acuerdo con lo detallado en la tabla 11:

Tabla 11. Tipos de Usuarios Domésticos

Clase Socioeconómica	Descripción del tipo de vivienda
Residencial	Casas solas o departamentos de lujo, que cuentan con dos o más baños, jardín grande, cisterna, lavadora, etc.
Media	Casas y departamentos que cuentan con uno o dos baños, jardín mediano y tinaco.
Popular	Vecindades y casas habitadas por una o varias familias, las cuales cuentan con jardín pequeño, con un solo baño o compartiéndolo.

Nota. Fuente: (Jiménez, n.d.)

#### 4.5.2 Consumo No-Doméstico

Es la cantidad de agua que se utiliza en áreas de comercios y servicios, y se subdividen en la tabla 12 (Jiménez, n.d.):

Tabla 12. Tipos de Usuarios No-Domésticos

Comercial	Agua usada en comercios y locales.
Industrial	Agua usada en fábricas, hoteles, etc. Su cantidad se estima según la actividad que realiza.

---

*Nota. Fuente: (Jiménez, n.d.)*

## **4.6 Software**

### **4.6.1 AutoCAD**

AUTOCAD es un software CAD que viene de las siglas en inglés (Computer Assisted Desing) o en español Diseño Asistido por Computador teniendo su primera aparición en 1982. Además, este software tiene acceso abierto a los métodos y propiedades geométricas, se puede crear y leer modelos geométricos en 2D y 3D basados en información proporcionados por el usuario (Shishigin et al., 2015).

### **4.6.2 EpaCAD**

Es un programa gratuito que permite transformar archivos de AutoCAD a archivos legibles para Epanet (software gratuito más extendido para la simulación de redes hidráulicas a presión). En este proceso, EpaCAD es idóneo en examinar de forma automática las principales propiedades de los elementos, facilitando en gran medida el trabajo necesario para generar una red (València, n.d.)

### **4.6.3 Epanet**

Creado por Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, Enviromental Protection Agency), es un programa para el estudio y evaluación del comportamiento de las redes hidráulicas a presión.

El programa incorpora un módulo de análisis hidráulico que permite simular el comportamiento dinámico de redes de distribución de agua potable. Además, permite incorporar válvulas, bombas de velocidades constantes o variables, tanques, embalses y sistema de control temporales o según nivel o presión, véase figura 14 (Saldarriaga, 2007).

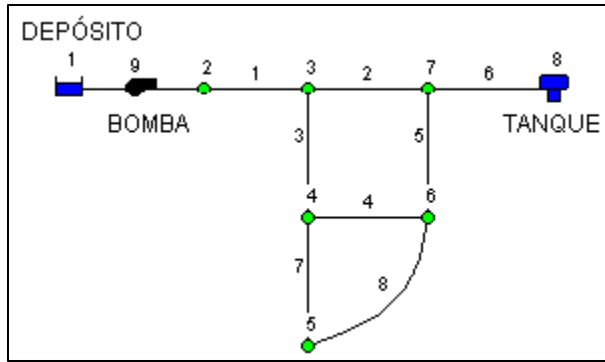


Figura 14. Componentes de una Red en EPANET

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

Epanet utiliza ecuaciones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Chézy-Manning para el cálculo de pérdidas de fricción. Con base a la teoría lineal, EPANET resuelve los problemas matemáticos de la red. No obstante, EPANET sirve para calcular la calidad del agua. El programa es confiable y seguro, el límite de una red no lo da el programa sino la capacidad que pueda procesar el computador. La entrada de información se da a través de variables de tipo texto, una vez ingresada esta información los resultados se muestran en tablas y gráficos (figura 15), una ventana típica del software se muestra en la figura 16.

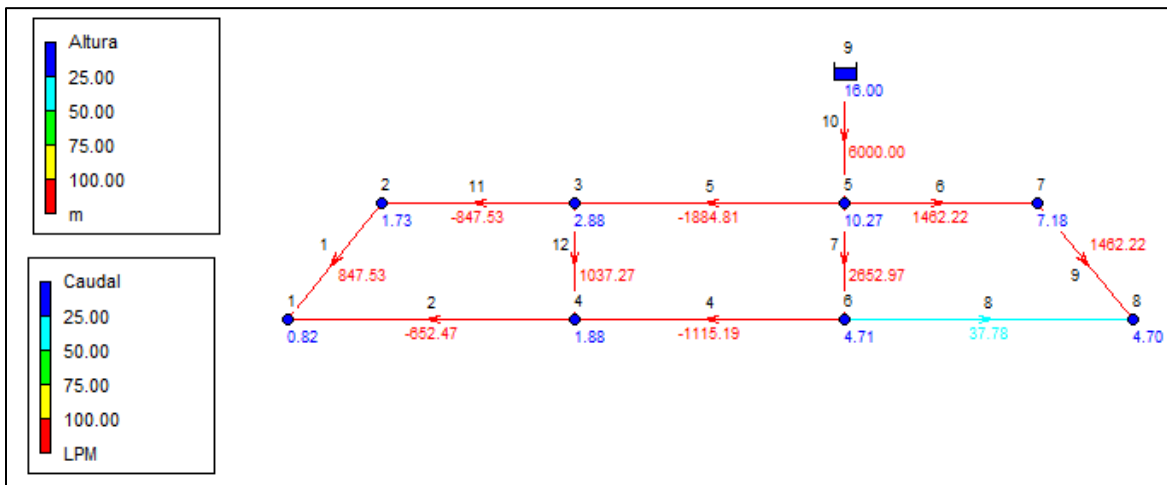


Figura 15. Presentación de gráfica de resultados EPANET

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

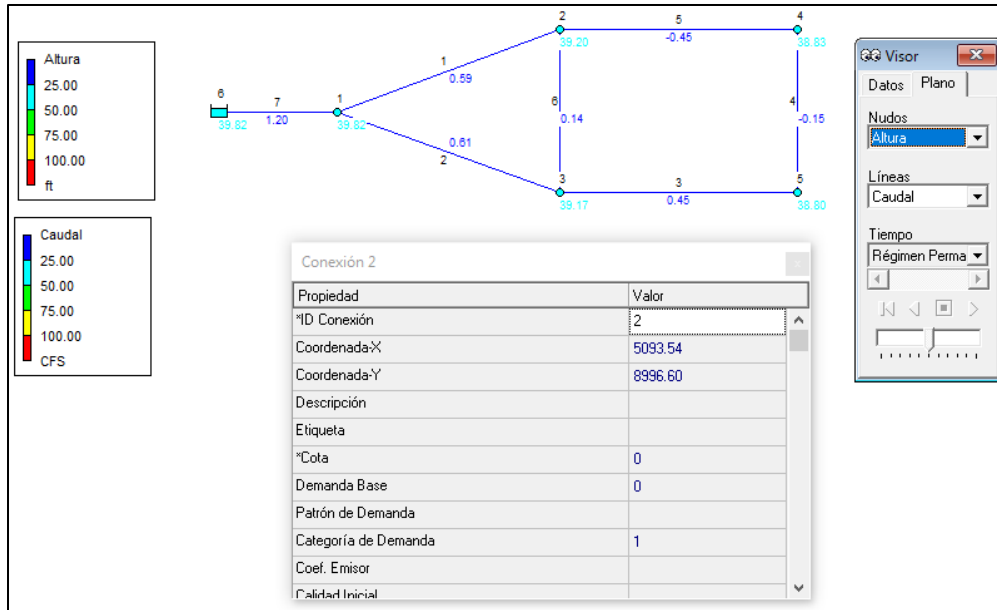


Figura 16. Presentación típica del programa EPANET

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet

Los beneficios adicionales que este software trae, es que además de ser gratuito, presenta el esquema de red sobre el cual codifica, por colores, diferentes resultados en diferentes instantes de tiempo, es decir, se puede colocar factores de consumo a diferentes tiempos mediante una ventana llamada visor, el cual sirve para expresar la información de la tubería y nudos de la red. Además, es compatible con AutoCad el cual sirve de apoyo para diseñar redes externas de agua potable para luego ser exportada a EPANET mediante EpaCAD para su posterior simulación.

Por ser EPANET un software reconocido mundialmente ha ido creciendo. En la tabla 13 se muestra algunas características importantes (J. G. Saldarriaga, 1998).

Tabla 13. Características del programa EPANET

EPANET	
Permite	Análisis Hidráulico Calidad de agua Simulación extendida
Ecuaciones de análisis	Harzen-Williams Darcy-Weisbach Chézy-Manning
Metodología de solución	Método del gradiente
Entorno	Windows 10, 8, 8.1, 7, 95, 98, XP
Presentación de resultados	Por pantalla En tablas

	En gráficas En archivos de texto
Ventajas frente a otros programas	Facilidad de uso Distribución gratuita Excelente presentación de resultados
Desventajas frente a otros programas	No diseña Entrada de datos complicada
Home page en Internet	<a href="http://www.epa.gov">http://www.epa.gov</a>

*Nota. Fuente: (Saldarriaga, 2007)*

A continuación, se describe cada elemento que presenta Epanet:

### **Embalse**

Son sumideros o fuentes de alimentación, en la presente tesis, la planta de tratamiento del agua potable representa un embalse (ver figura 17).

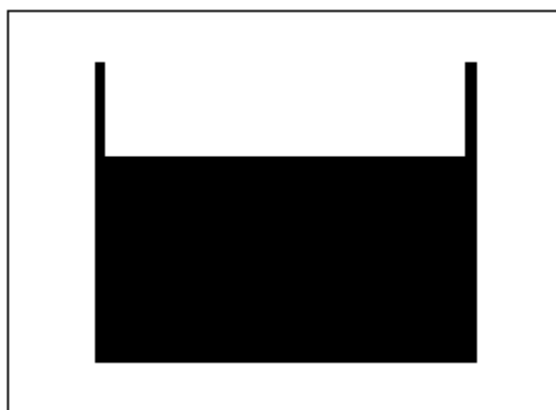


Figura 17. Símbolo de un embalse en Epanet

*Nota. Fuente: (Solórzano, s.f.)*

Dando doble clic sobre este presenta la siguiente ventana de propiedades figura 18:



Embalse 109	
Propiedad	Valor
*ID Embalse	109
Coordenada-X	673478.00
Coordenada-Y	9564199.00
Descripción	
Etiqueta	
*Altura Total	1761
Patrón de Altura	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Caudal Neto Entrante	-1.86
Cota	1761.00

Figura 18. Propiedades de un embalse en Epanet

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

- **ID Embalse:** Es la identificación del embalse con un número entero, cabe recalcar que este se asigna automáticamente a medida que vaya dibujando en la Red, además no se puede repetir el mismo ID de un embalse de la misma red.
- **Coordenadas X e Y:** Es la ubicación en un área normal, estos son colocados automáticamente por Epanet y cambian si es ubicado en otra área de trabajo.
- **Altura Total:** es la elevación, altura o cota piezométrica del embalse. Su unidad en el Sistema Internacional está en metros, además dicha altura es m.s.n.m, es decir, sobre el nivel del mar.
- **Caudal neto entrante:** Es un dato calculado por el programa o de salida, su unidad está dada en L/s y si su valor es negativo (-) significa que ese caudal está saliendo del embalse.
- **Cota:** son datos de salida o calculados (casillero color amarillo), es la altura antes descrita (m).

### Conexiones.

Es la unión entre dos o más líneas o tuberías siendo un elemento físico, sirven como puntos hidráulicos de salida o entrada de un fluido. En la figura 19 se muestra como están representados en el programa.

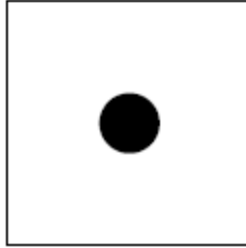


Figura 19. Símbolo de una conexión en Epanet

*Nota. Fuente: (Solórzano, s.f.)*

En la figura 20 se muestra el cuadro de las propiedades de las conexiones.

Conexión 69	
Propiedad	Valor
*ID Conexión	69
Coordenada-X	675305.17
Coordenada-Y	9564249.66
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	1582
Demanda Base	0.019
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	

Figura 20. Propiedades de las conexiones en Epanet

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

- **ID de conexión:** Es un número entero para identificar esos nudos, el programa asignará automáticamente este número en orden cronológico a medida que vaya dibujando, además el programa nunca repite sus mismos números.
- **Coordenadas X e Y:** Representan la ubicación en un área predeterminada, estos son colocados automáticamente por Epanet y cambian si es ubicado en otra área de trabajo.
- **Cotas:** Se coloca el valor de la cota topográfica del terreno donde se va a trabajar. Sus unidades están dadas en metros según el SI. Estas elevaciones deben de ser sobre el nivel del mar.

- **Demanda Base:** Es el caudal de salida de esa conexión y si no existe consumo se debe ubicar cero, ya que no existe salida de fluido, mientras que, si entra caudal, este valor debería llevar signo negativo.

## Tuberías

Son elementos que transportan fluido entre dos nudos. La dirección del fluido obedece al principio del gradiente hidráulico, es decir, el fluido se desplaza de un punto de mayor a uno de menor energía, en la figura 21 se representa el símbolo de una tubería en Epanet.

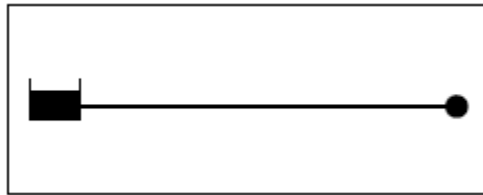


Figura 21. Representación de una tubería en Epanet

*Nota. Fuente: (Solórzano, s.f.)*

Epanet para el tema de las pérdidas hidráulicas maneja las siguientes metodologías Darcy-Weisbach; Hazen-Williams; Chezy-Manning, como también las pérdidas por accesorios, la cual tiene presente la constante de pérdidas ( $k_m$ ) en el tramo de tubería simulada.

Es importante a la hora de colocar una tubería que al inicio y final exista un nudo, en la figura 22 se muestra un ejemplo de datos de las propiedades de las tuberías.

Tubería p92	
Propiedad	Valor
*ID Tubería	p92
*Nudo Inicial	77
*Nudo Final	82
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	46.88
*Diámetro	24.3
*Rugosidad	0.0015
Coef. de Pérdidas	2.1
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	0.53
Velocidad	1.15
Pérd. Unit.	69.61
Factor fricción	0.025
Velo. de Reacción	0.00
Calidad	0.00
Estado	Abierto

Figura 22. Propiedades de las Tuberías en Epanet

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

- **ID Tubería:** Es un número entero para identificar las tuberías, el programa asignará automáticamente este número en orden cronológico a medida que vaya dibujando, además el programa nunca repite sus mismos números.
- **Nudo inicial:** Es el punto de partida que se une a una tubería, el programa asume un nudo inicial de acuerdo con el sentido como se dibuje.
- **Nudo final:** Es el punto final que se une a la tubería, el programa asume un nudo final de acuerdo con el sentido como se dibuje.

- **Longitud:** Dato importante para la simulación, es la longitud de la tubería en metros dispuesta por el SI, existen dos maneras de colocar este valor, la primera ubicar de manera manual, es decir, escribir en el recuadro la longitud de tubería y la otra forma es de manera automática, activando la opción (longitud Auto: On) indica con la fleja roja en la figura 23.

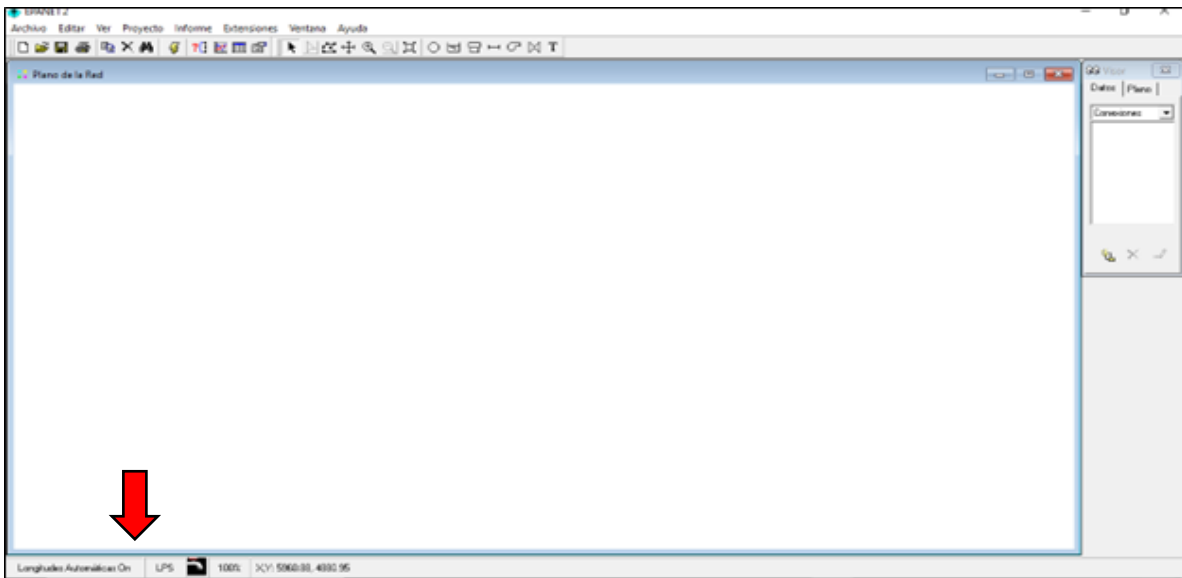


Figura 23. Colocación de forma automática la longitud de tubería

*Nota. Fuente: (Solórzano, n.d.)*

- **Diámetro:** Es el diámetro interno de la tubería a simular. En el Sistema Internacional se trabaja en (mm), además se recomienda ver catálogos de fabricantes de tuberías para seleccionar estos valores.
- **Rugosidad:** Es el valor de rugosidad absoluta del material de la tubería, dada en (mm) en el sistema SI.
- **Coefficiente de pérdidas:** En este cuadro se deben considerar los coeficientes o constantes de pérdidas de los accesorios que posea la tubería. Cada tubería tiene estas pérdidas denotadas por la variable ( $k_m$ ) las cuales se encuentran entre 0.2 a 10 aproximadamente, donde en la tabla 4 se puede escoger su valor. Además, se debe colocar la sumatoria de todos los coeficientes de pérdidas encontradas en la tubería, denotada por ( $\sum k_m$ ).

- **Estado inicial:** Es el estado en la que se encuentra la tubería, es decir, abierto o cerrado para su simulación, si el usuario quiere restringir el sentido del flujo debe colocar la opción Válvula de Retención y su funcionamiento equivaldrá a una válvula check.

A continuación, se presenta las variables de salida o calculadas:

- **Caudal:** Es del caudal calculado por el programa, en L/s.
- **Velocidad:** Dato calculado por el programa, sujeta al caudal y diámetro de la tubería, dada en m/s por el SI.
- **Pérdida Unitaria:** Es el cálculo que se tiene entre la relación de las pérdidas de energía y longitud que ocasiona dichas pérdidas, expresada en m/km
- **Factor de fricción:** EPANET calcula el factor de fricción de Darcy-Weisbach de manera automática. Dicho factor tiene en cuenta la viscosidad del fluido, la rugosidad absoluta del material, el diámetro y la velocidad del fluido. En zona turbulenta usa la ecuación de Swamee-Jain para el cálculo del factor de fricción.

## Bombas

Son máquinas que inyectan energía al fluido para transportarlo desde un punto 1 hacia 2, véase la figura 24. La sumatoria de alturas que debe vencer la bomba se las conoce como altura manométrica o altura dinámica, para la simulación de la bomba necesitan varias curvas características, siendo la curva de caudal vs. altura manométrica o dinámica la más común.

Para dibujar la bomba se debe conceder el sentido o dirección del flujo porque el punto inicial va a ser la succión y el punto final la descarga.

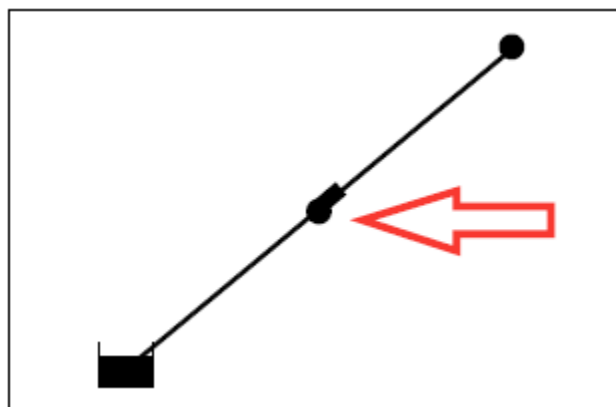


Figura 24. Representación de una bomba en Epanet

*Nota. Fuente: (Solórzano, n.d.)*

En la figura 25, se presenta la ventana de propiedades de una bomba.

Bomba 14	
Propiedad	Valor
*ID Bomba	14
*Nudo Inicial	Unión
*Nudo Final	Cortadora1
Descripción	
Etiqueta	
Curva Característica	CPm600
Potencia	0.37
Velocidad Relativa	
Patrón	
Estado Inicial	Abierto
Curva de Rend.	
Precio Energía	
Patrón de Precios	
Caudal	0.49
Altura Manométrica	-21.95
Calidad	0.00
Estado	Abierto

Figura 25. Propiedades de la bomba en Epanet

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

- **ID de la bomba:** Es un número entero para identificar las bombas, el programa asignará automáticamente este número en orden cronológico a medida que vaya dibujando, además el programa nunca repite sus mismos números.
- **Nudo inicial:** Es el punto de partida que se une a la bomba, el programa asume un nudo inicial de acuerdo con el sentido como se dibuje.
- **Nudo final:** Es el punto final que se une a la bomba, el programa asume un nudo final de acuerdo con el sentido como se dibuje.
- **Curva característica:** Se coloca la identificación o (ID) de la curva característica obtenida por el fabricante para simular la bomba que desea, con respecto al caudal y altura manométrica o dinámica. Además, para la curva característica de la bomba en el eje X se debe colocar los datos de caudal en l/s y en el eje Y se debe colocar la altura manométrica o dinámica en metros, mostrada en la figura 26.

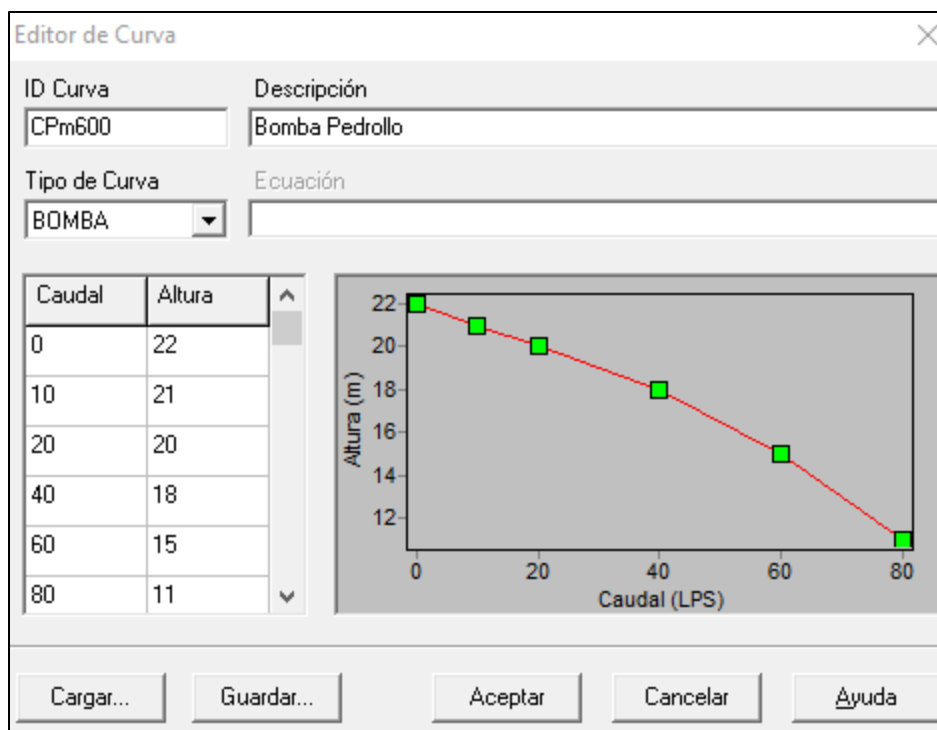


Figura 26. Curva característica de una bomba en Epanet

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

- **Potencia:** Es la potencia suministrada por la bomba en kilovatios (kW), dispuesta por el fabricante. Se recomienda colocar curva característica, de lo contrario el programa considera de manera automática una eficiencia del 100%.
- **Estado inicial:** Permite colocar si la bomba está encendida o apagada para la simulación, Epanet de forma predeterminada la tiene encendida.
- **Caudal:** Es el caudal suministrado por la bomba, es un dato de salida o calculado por el programa, su unidad está dada en (l/s), no se puede modificar este valor.
- **Altura manométrica:** Es la carga de energía calculada por el programa para vencer las pérdidas por fricción y por accesorios, su unidad es metros en el SI.
- **Estado:** Muestra los dos estados encendida y apagada en el momento de la simulación.

## Válvulas

Son elementos hidráulicos que sirven para regular o controlar el paso de fluido entre dos tuberías, en la figura 27, se muestra la representación de una válvula en Epanet.



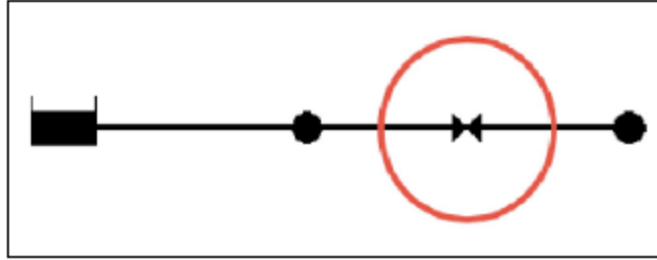


Figura 27. Representación de una válvula en Epanet

*Nota. Fuente: (Solórzano, n.d.)*

Además, dependiendo al tipo de mecanismo de estrangulamiento, se clasifican en los siguientes tipos de válvulas mostradas en la tabla 14.

Tabla 14. Tipos de válvulas en Epanet

Tipo de válvula	
PRV	Válvula reductora de presión
PSV	Válvula sostenedora de presión
PBV	Válvula de rotula de carga
FCV	Válvula controladora de caudal
TCV	Válvula reguladora por estrangulación
GPV	Válvula de propósito general

*Nota. Fuente: (Solórzano, n.d.)*

Al dar doble clic sobre la válvula se despliega la ventana de propiedades de las válvulas en Epanet, presentada en la figura 28.

Válvula 28	
Propiedad	Valor
*ID Válvula	28
*Nudo Inicial	101
*Nudo Final	2
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	152
*Tipo	Reductora
*Consigna	15
Coef. Pérdidas	12
Estado Fijo	Ninguno
Caudal	30.65
Velocidad	1.69
Pérdidas	35.75
Calidad	0.00
Estado	Activo

Figura 28. Propiedades de una válvula en Epanet

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

- **ID de la válvula:** Es un número entero para identificar las válvulas, el programa asignará automáticamente este número en orden cronológico a medida que vaya dibujando, además el programa nunca repite sus mismos números.
- **Nudo inicial:** Es el punto de partida que se une a la válvula, el programa asume un nudo inicial de acuerdo con el sentido como se dibuje.
- **Nudo final:** Es el punto final que se une a la válvula, el programa asume un nudo final de acuerdo con el sentido como se dibuje.
- **Diámetro:** Es diámetro útil de la válvula consignado por el fabricante dado en (mm) por el SI.
- **Tipo:** Epanet permite seleccionar el tipo de válvula que se quiera simular, mostradas en la tabla 13.
- **Consigna o tarado (setting):** Es una propiedad muy importante para la simulación, ya que para una válvula reductora es la presión requerida agua abajo en metros (m).

- **Coefficiente de pérdidas:** Es el coeficiente de pérdidas menores, se aplica cuando la válvula se encuentra totalmente abierta, denotada en la tabla 17.
- **Estado Fijo:** Es el estado de la válvula al principio de la simulación, abierta, cerrada o ninguna.
- **Caudal:** Dato de salida o calculado que pasa por la válvula expresada en (l/s).
- **Velocidad:** Dato de salida o calculado que pasa por la válvula expresada en (m/s).
- **Pérdidas:** Muestra la caída de energía debido a pérdidas donde se encuentra instalada la válvula en unidades (m) según el SI.
- **Estado:** Dato de salida abierta o cerrada (Solórzano, n.d.).

#### ***4.6.4 Google Earth Pro***

Es un programa para revisar información concerniente a un lugar específico. Ofrece a sus usuarios una referencia geoespacial de fácil acceso al público, brindando imágenes con máxima resolución y en 3D de ciudades, carreteros.

Google Earth Pro amplía el poder de Google Earth con incorporaciones adicionales útiles para usuarios comerciales, como lo es de imprimir imágenes en alta resolución, afiches e informes. Además, presenta algunas funciones importantes como:

- Transferir imágenes hasta 11”x17” con impresión de alta resolución
- Herramientas de medición de Google Earth Pro que miden área, radio y longitud.
- Importar hoja de cálculo de direcciones y ver al instante dichos puntos en un mapa con la función Batch Geocoding
- Crear videos personalizados y creativos fácilmente con la función Movie Maker para publicarlo y usarlo en presentaciones (Google, 2009).

Los sistemas de coordenadas que trabaja el Google Earth son: UTM y geométricas. Las coordenadas, UTM se empleó en este proyecto, a continuación, se la describe.

#### 4.6.4.1 Sistema de Coordenadas UTM.

El sistema de coordenadas geográficas UTM (en inglés Universal Transverse Mercator), se emplean para ubicar cualquier punto terrestre dentro del globo terráqueo, a través de un método de proyección cilíndrica para representar la Tierra sobre el plano (ver figura 29).

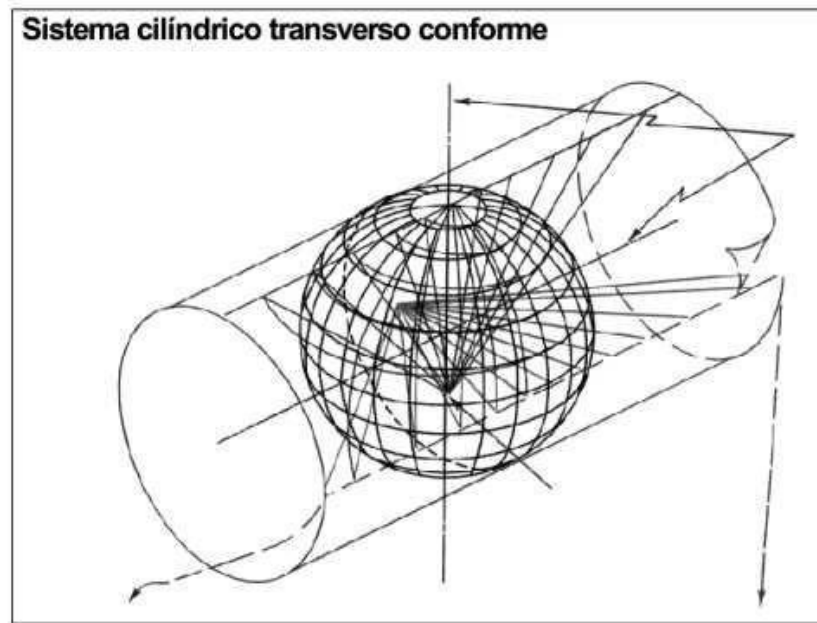


Figura 29. Proyección de superficie terrestre sobre superficie cilíndrica

*Nota. Fuente: (Arista Sur, 2014)*

La proyección presenta las siguientes características:

Es una proyección cilíndrica: Se proyecta la superficie del globo terráqueo sobre una superficie cilíndrica.

Es una proyección transversa: El cilindro es tangente a la superficie terrestre según un meridiano: El eje del cilindro coincide con el eje ecuatorial.

Es una proyección conforme: Guarda similitud con los ángulos, es decir, los ángulos coinciden con la medida del elipsoide terrestre.

Las ventajas de esta proyección son las siguientes:

- El sistema pasa de ser esférico a rectangular pudiendo ubicar cuadrículas, haciendo más fácil ubicar puntos y trazar rumbos en ellos.

- Facilidad en la medición de distancias cortas.
- Los rumbos y direcciones se ubican con sencillez.
- Las desventajas son las siguientes:
- No existe uniformidad en la escala de distancias.
- A diferentes latitudes se pierde proporción entre superficies.
- No se representa las zonas polares.

### **Husos y zonas**

Para resolver el inconveniente de la deformación de la proyección UTM, se dispuso en subdividir el meridiano en 60 husos iguales de 6° de longitud. Siendo 60 proyecciones iguales, pero cada uno cuenta con su respectivo meridiano central.

Los husos se numeran del 1 al 60, empezando desde el antimeridiano de Greenwich (180°) hacia el Este. De este modo, el huso comprendido entre 180 °W y 174 °W es el primero (ver figura 30).

Luego de ubicar los husos se determina una división por zonas (o bandas). Donde cada zona tiene 8° de latitud y 6° de longitud, y se las representa con un número de su huso y una letra mayúscula (zona). Distribuida desde el hemisferio Sur al Norte, empezando con la letra C siguiendo el alfabeto eliminando las vocales y las letras que se parecen a los números como (la B, la O y la letra P) (ver figura 31).

- Las zonas entre la C y la L corresponden al hemisferio Sur.
- Las zonas entre la M y la X corresponden al hemisferio Norte. Como excepción, la zona X posee 12° de latitud y se extiende desde los 72 °N hasta los 84 °N (ver figura 30) (Arista Sur, 2014).

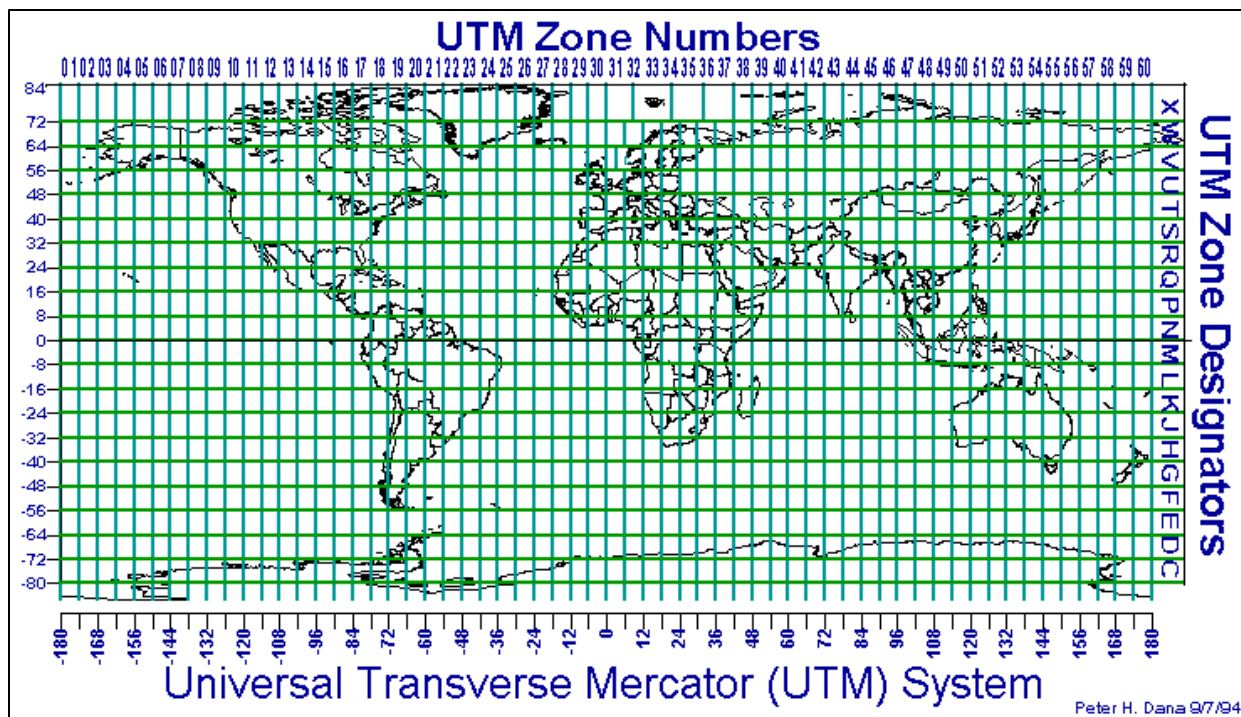


Figura 30. Sistema de coordenadas UTM

*Nota. Fuente: (Franco, 1999)*

## 5. Metodología

A continuación, se detallan los materiales y métodos implementados en la realización del presente proyecto de investigación.

### 5.1 Materiales para la elaboración del proyecto

Primeramente, se necesitó la colaboración de las autoridades que conforman la junta administradora de agua potable de la parroquia de San Pedro de la Bendita, para obtener los planos de la disposición actual de la red de tuberías de agua potable, topografía y catastro. Además, la ayuda de software específicos para el diseño y simulación de la nueva REDAP especificados en la tabla 15.

Tabla 15. Materiales necesarios para el reconocimiento y elaboración del proyecto

CANTIDAD	MATERIAL
1	Cámara Móvil
4	Planos
1	Computador
1	Paquete Office
1	Software de diseño: AutoCAD 2019
1	Software Conversor: EpaCAD
1	Software de simulación: Epanet, Google Earth Pro

*Nota. Fuente: Elaboración propia.*

### 5.2 Ubicación

San Pedro de la Bendita está conformado por los siguientes barrios: Girón, El Tingo (figura 31), El Limo, El Sauce (San Vicente), La Concha y Togueros, vistas en la figura 32. El barrio Togueros está ubicado a un costado de la avenida principal de ingreso a la parroquia de San Pedro de la Bendita (Catamayo.gob.ec, n.d.)

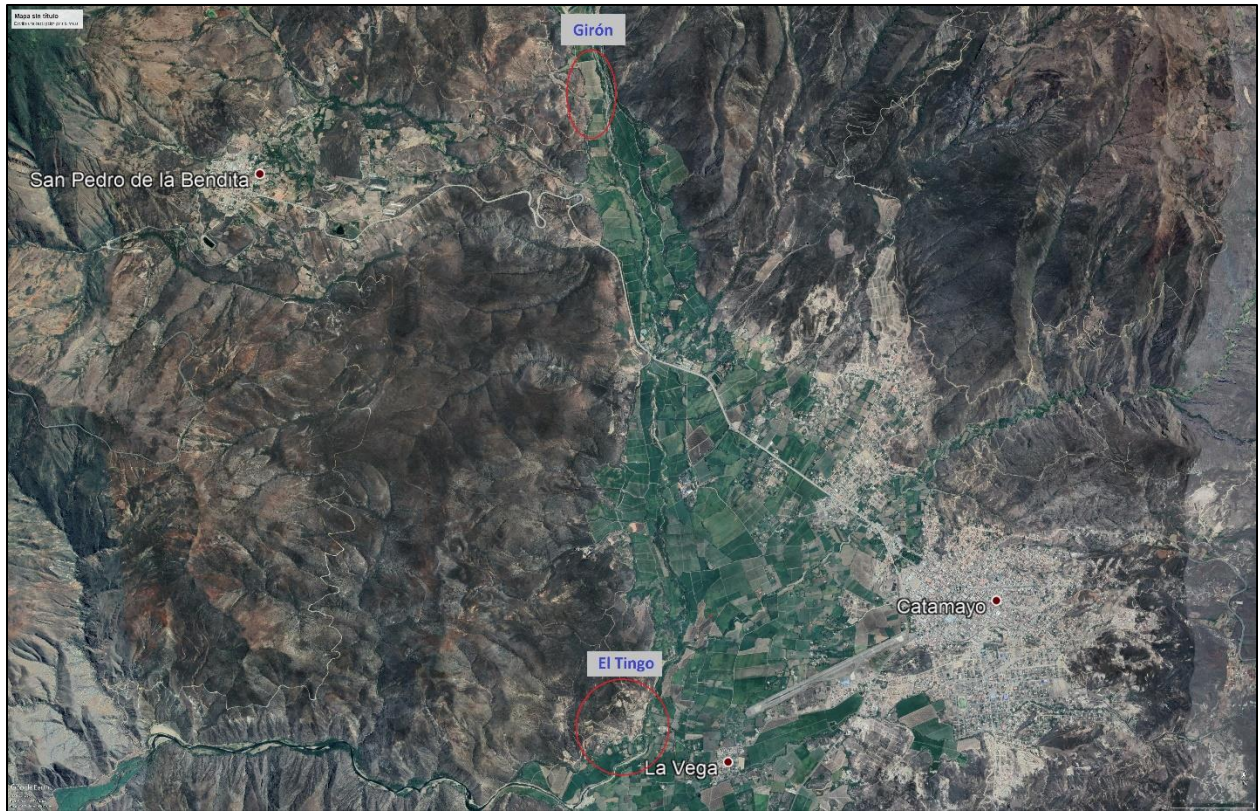


Figura 31. Barrios de San Pedro de la Bendita (Girón y El Tingo)

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Google Earth Pro.*

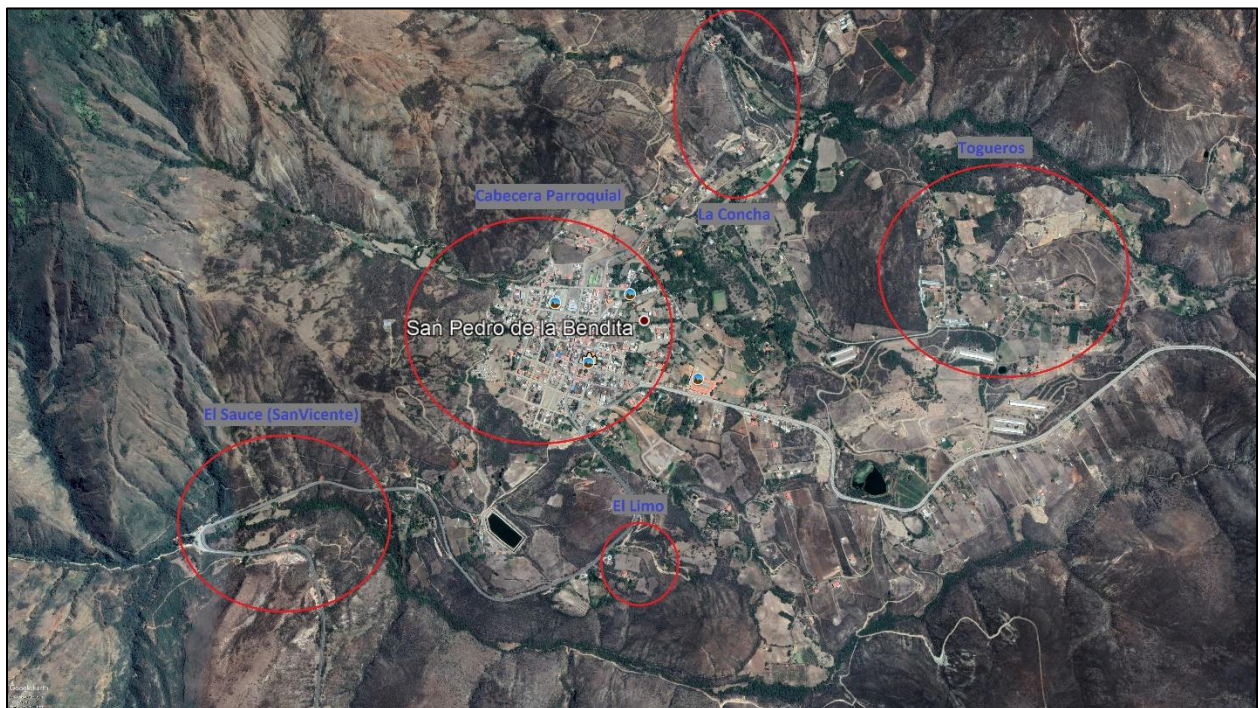




Figura 32. Barrios de San Pedro de la Bendita (El Limo, El Sauce (San Vicente), La Concha y Togueros)  
Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Google Earth Pro.

### 5.3 Metodología

#### 5.3.1 Caracterizar la demanda de caudal en el sector Togueros de San Pedro de la Bendita

Debido a que se trata de una zona rural se trabajó dos tipos de metodologías. La primera toma en consideración la dotación diaria de agua potable por habitante para la REDAP, regido por la normativa CPE INEN 5, mientras que la segunda, la demanda está establecida por el número de accesorios sanitarios dispuestos en una vivienda tipo para la RIDAP, de acuerdo con la Normativa NEC-11.

##### 5.3.1.1 Demanda por dotación diaria (per cápita).

A continuación, en la figura 33 se presenta un flujograma de actividades desarrolladas por el tesista para determinar la demanda por dotación diaria.

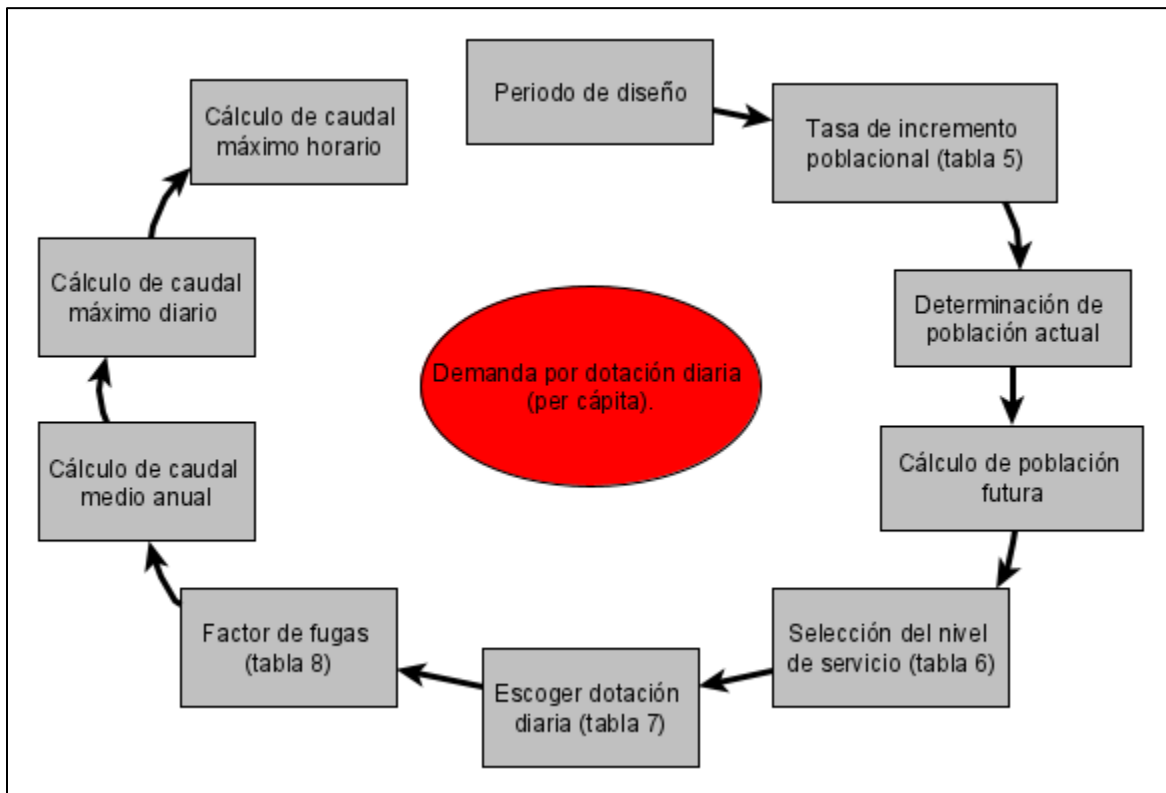


Figura 33. Flujograma para Encontrar la Demanda por Dotación Diaria

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de yEd.

Para determinar el consumo de agua potable se tomó en cuenta el número de habitantes, donde primero se consideró el periodo de diseño, para lo cual la norma establece que se debe diseñar para un tiempo de 20 años. Luego, se calculó la población futura a través de la

proyección geométrica o con el uso de la ecuación 7, donde el incremento (i) se especifica en la tabla 5, siendo de 1 % para la región Sierra; además, para la población actual  $P_a$  se considera el número de habitantes por terreno o vivienda tipo de 5 habitantes.

$$P_f = P_a * (1 + i)^n = 5 \text{ hab} * (1 + 0.01)^{20} = 6 \text{ hab}$$

Resultando 6 personas por vivienda o terreno para el diseño de la REDAP para una proyección de 20 años.

Una vez calculado la población futura se eligió el nivel de servicio que se va a proveer según la Tabla 6, donde el indicado es el llb, ya que la REDAP es para conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa. Mientras que la dotación para este nivel de servicio se muestra en la tabla 7 donde el valor a escoger es de 100 l/hab\*día, puesto que en la zona donde se diseñó se considera clima cálido (San Pedro de la Bendita es considerado clima templado-seco). Además, la Organización Mundial de la Salud dice: **una persona requiere de 100 litros de agua al día** (5 o 6 cubetas grandes) **para satisfacer sus necesidades**, tanto de consumo como de higiene (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2019).

Posteriormente, se calculó el caudal medio anual usando la ecuación 8, donde la variable r es el factor de fugas, se escogió de la tabla 8 siendo que para un nivel de servicio llb le corresponde el 20 %, es decir, 1.2.

$$Q_m = r * \frac{P_f * D_f}{86400} = 1.2 * \frac{6 \text{ hab} * \frac{100L}{\text{hab} * \text{día}}}{86400} = 0.008 \text{ l/s}$$

Dando un resultado de 0.008 l/s el caudal medio anual.

Mientras para el cálculo del caudal máximo diario se aplica la ecuación 9, donde el factor de mayoración máximo diario  $K_{MD}$ , tiene un valor de 1.25.

$$Q_{MD} = K_{MD} * Q_m = 1.25 * 0.008 \frac{l}{s} = 0.01 \text{ l/s}$$

Mostrando un resultado de 0.01 l/s el caudal máximo diario.

Por último, se calculó el caudal máximo horario con ayuda de la ecuación 10, donde el factor de mayoración máximo horario  $K_{MH}$  tiene un valor de 3.

$$Q_{MH} = K_{MH} * Q_m = 3 * \frac{0.008 \text{ l}}{s} = 0.025 \text{ l/s}$$

Además, debido a las bajas velocidades, se propone un arreglo a la red interna de agua potable (RIDAP) para una vivienda tipo, mediante el método de caudal instantáneo descrito a continuación.

### 5.3.1.2 Demanda por caudal instantáneo en la Red interna de agua potable-RIDAP.

En la figura 34 se muestra un diagrama de actividades que se llevó a cabo para lograr este método.

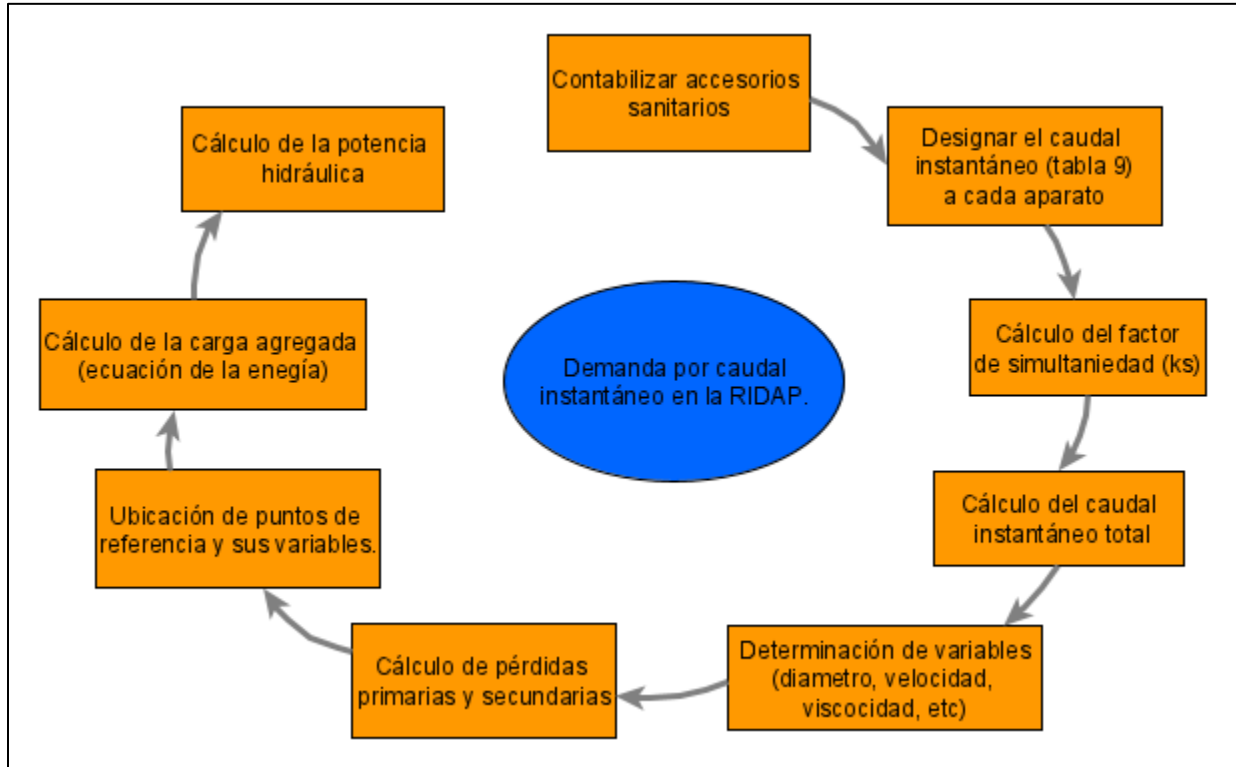


Figura 34. Flujograma para el Método de Caudal Instantáneo

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de yEd.*

La vivienda tipo del sector posee 7 aparatos sanitarios como: ducha, baño, fregadero, etc; véase en la figura 35 o en plano en el anexo 14, donde se muestra el plano de vivienda y su red hidráulica.

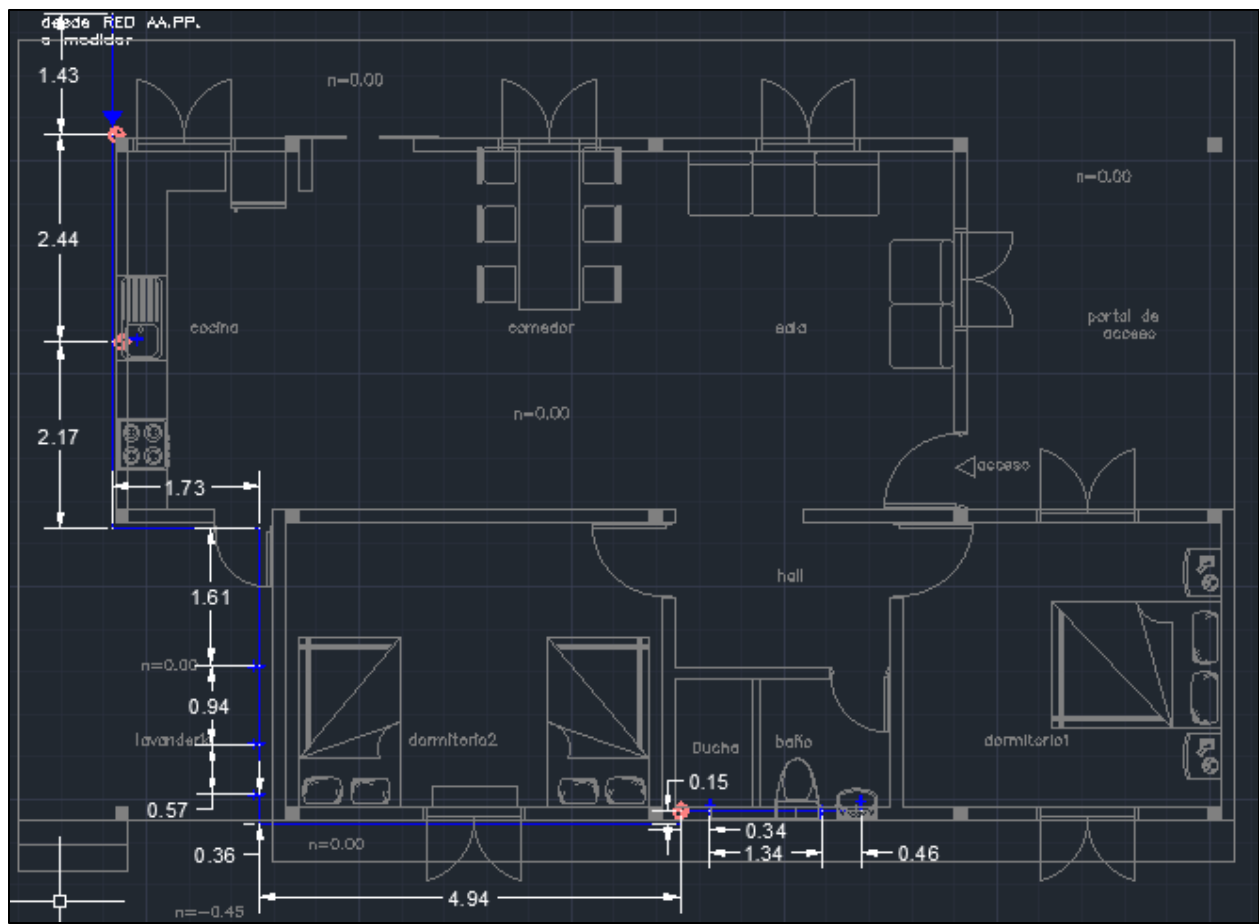


Figura 35. Distribución de los Aparatos Sanitarios en Vivienda Tipo

Nota. Fuente: (Córdova R, 2016)

Con la ayuda de la metodología dictada por la normativa NEC-11, se procedió a designar la demanda base de cada aparato a través de la tabla 9, consiguiendo las siguientes demandas.

$$Q_i = \begin{bmatrix} 0.2 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Fregadero} \\ \text{Lavadora} \\ \text{Lavadora} \\ \text{Grifo} \\ \text{Ducha} \\ \text{Inodoro} \\ \text{lavado} \end{bmatrix}$$

Luego se calculó el factor de simultaneidad con la ecuación 11, donde el número de aparatos sanitarios son 7 y F tiene un valor de cero debido a que son viviendas rurales, obteniendo el siguiente resultado.

$$k_s = \frac{1}{\sqrt{n-1}} + F * (0.04 + 0.04 * \log(\log(n))) = \frac{1}{\sqrt{7-1}} + 0 = 0.41$$

Que al multiplicar la demanda base de cada aparato sanitario por el factor de simultaneidad, y sumando todo esto resulta el caudal instantáneo total.

$$Q_t := Q_i \cdot k_s = \begin{bmatrix} 0.082 \\ 0.082 \\ 0.082 \\ 0.082 \\ 0.041 \\ 0.041 \end{bmatrix} \quad \sum Q_t = 0.49$$

Donde la demanda total de la RIDAP es de 0.49 l/s y por garantizar una velocidad razonable se debe colocar una bomba a este sistema, por lo cual se calcula la carga agregada considerando el método al aparato crítico; es decir, la ruta desde la cisterna (punto 1) al lavado (punto 2), para el análisis véase figura 36.

Identificada la ruta, se calculó las pérdidas primarias y secundarias considerando las propiedades de las tuberías, conexiones, accesorios y bomba que lo conforman para usarlas en las ecuaciones respectivas usando el método de Darcy- Weisbach. El diámetro de tubería se tomó de ¾ in plastigama PVC roscable y la viscosidad presentada en el anexo 10, con la temperatura promedio anual de San Pedro de la Bendita de 17 ° Celsius (Weather Atlas, n.d.)

$$Q = \frac{0.49l}{s} = 4.9 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$D = 0.01885m$$

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2 = \frac{\pi}{4} * 0.01885^2 = 2.79 * 10^{-4} m^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4.9 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{2.79 * 10^{-4} m^2} = 1.75 m/s$$

$$\vartheta = 1.01 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

Donde aplicando la ecuación 1 del número de Reynolds se obtuvo

$$N_R = \frac{vD}{\vartheta} = \frac{1.75 \frac{m}{s} * 0.01885 m}{8.94 * 10^{-7} \frac{m^2}{s}} = 32\ 660.89 \text{ (Zona Turbulenta)}$$

Estando en el régimen Turbulento, por lo tanto, se puede usar la ecuación 3 para encontrar el factor de fricción o con el diagrama de Moody figura 4. Además, se consideró la longitud total de las tuberías de la RIDAP, como la rugosidad vista en la tabla 1 para plástico.

$$L = 17.15 m$$

$$\varepsilon = 3 * 10^{-7} m$$

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{0.01885 m}{3 * 10^{-7} m} \right)} + \frac{5.74}{32\ 660.89^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.022$$

Luego que se calculó el factor de fricción de la tubería, se determina la pérdida primaria con la ecuación 2.

$$h_p = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} = 0.022 * \frac{17.15 m}{0.01885 m} * \frac{\left( 1.75 \frac{m}{s} \right)^2}{2 * \frac{9.81 m}{s^2}} = 3.12 m$$

Mientras que para el cálculo de las pérdidas secundarias se usa la tabla 16, donde se escogió el accesorio dispuesto en la red y su correspondiente valor de longitud equivalente Le/D en la tabla 3 se muestra todos esos valores, y así obtener el valor de k.

Tabla 16. Pérdidas Secundarias de la Vivienda Tipo

Pérdidas Secundarias							
Tubería	Longitud (m)	FT	Le/D				k
			codo 90°	Válvula de compuerta de 3/4 in	Tes	Sumatoria de Le/D	
1	2,44	0,022	0	35	0	35	0,77
2	2,17	0,022	0	0	20	20	0,44
3	1,73	0,022	30	0	0	30	0,66
4	1,61	0,022	30	0	0	30	0,66
5	0,94	0,022	0	0	20	20	0,44
6	0,57	0,022	0	0	20	20	0,44
7	0,36	0,022	0	0	20	20	0,44

8	4,94	0,022	30	0	0	30	0,66
9	0,15	0,022	30	0	0	30	0,66
10	0,1	0,022	30	0	0	30	0,66
11	0,34	0,022	0	35	0	35	0,77
12	1,34	0,022	0	0	20	20	0,44
13	0,46	0,022	30	0	20	50	1,1
Total	17,15						8,14

*Nota. Fuente: Elaboración propia*

Entonces, con la ecuación 5 se obtuvo:

$$h_s = K \left( \frac{v^2}{2g} \right) = 8.14 * \left( \frac{\left( \frac{1.75m}{s} \right)^2}{2 * \frac{9.81m}{s^2}} \right) = 1.27 m$$

Posteriormente, con la sumatoria de las pérdidas tanto primaria y secundaria se tiene las pérdidas totales.

$$h_L = h_p + h_s = 3.12 m + 1.27 m = 4.39 m$$

Se calculó la carga agregada con las variables necesarias. Donde se ubicó dos puntos de referencia para el análisis, véase la figura 36, la presión 1 estática en el punto 1, en este caso corresponde a cero porque está expuesto a la atmósfera de San Pedro de la Bendita y la presión 2 es la presión manométrica recomendada para el último aparato sanitario, es decir, el lavado tomado de la tabla 9. Para la elevación geodésica se consideró como línea de referencia la superficie libre del fluido en el primer punto (cisterna) y el segundo punto está a 1.2 m respecto a esa línea, mientras que la velocidad 1 fue cero debido a que al estar en estanqueidad la cisterna, su valor es de cero, mientras que la velocidad 2 es de 1.75 m/s calculado anteriormente.

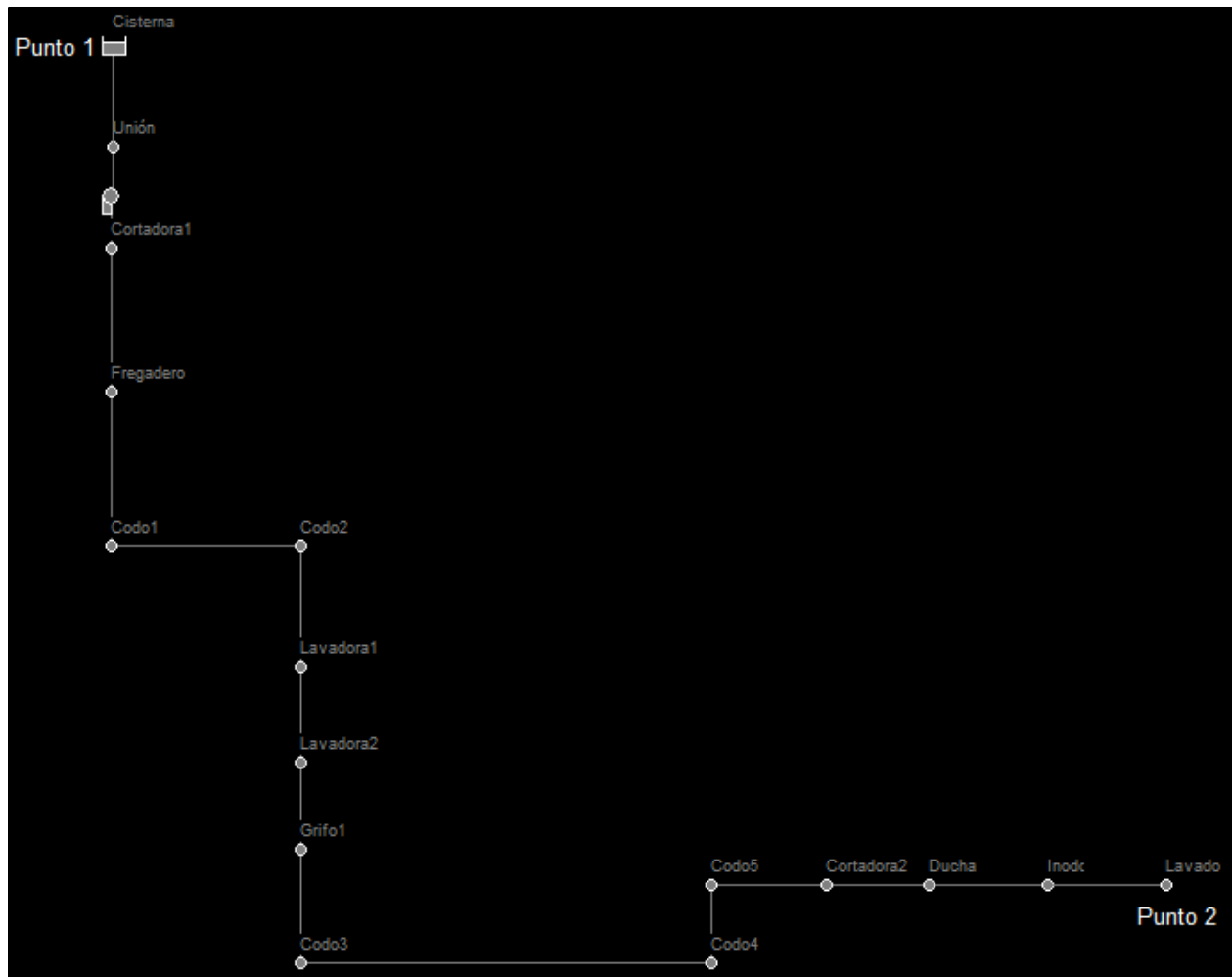


Figura 36. Distribución de Aparatos Sanitarios de una Vivienda Tipo y Ubicación de Puntos de Análisis  
 Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.

$$P_1 = 0 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 49.03 \text{ kPa}$$

$$z_1 = 0 \text{ m}$$

$$z_2 = 1.2 \text{ m}$$

$$v_1 = 0 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 1.2 \text{ m/s}$$

$$\gamma = 9.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$



Una vez proporcionados los datos anteriores se calculó la carga agregada con la ecuación 13 obteniendo.

$$h_A = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L$$

$$= \frac{(49.03 - 0)kPa}{9.81 \frac{kN}{m^3}} + (1.2 - 0)m + \frac{\left(1.75 \frac{m}{s}\right)^2 - 0}{2 \left(\frac{9.81m}{s^2}\right)} + 4.39 m = 10.74 m$$

Es decir, con la ecuación 14 se tiene una potencia hidráulica de:

$$P_H = h_A * \gamma * Q = 10.74 m * 9.81 \frac{kN}{m^3} * 4.9 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 0.052 kW = 0.07 HP$$

Para dimensionar el volumen de la cisterna, se usó la ecuación 16. Donde el número de personas a considerar son 6 habitantes, el caudal es la dotación tomada de la tabla 7 con un nivel de servicio llb y el tiempo es de 1 día, resultando:

$$V = n_p * Q_p * t = 6 hab * 100 \frac{L}{hab*día} * 1 día = 600 l$$

Para determinar si un sistema requiere un equipo de inyección de presión (grupo motor-bomba), se calculó la altura suministrada ( $A_{sum}$ ) a través de la ecuación 17, donde la presión mínima de acometida es de 5.50 m.c.a (en el nudo 2A del anexo 12, resaltando de color amarillo), resolviendo lo siguiente:

$$A_{sum} = P_{min} - 15 = 5.50 - 15 = -9.5 m. c. a$$

Es decir, es necesario para este sistema la implementación de un equipo inyector de presión.

Además, si se coloca una bomba también es necesario ubicar un equipo hidroneumático, la ecuación 18 se utilizó para conocer el volumen que tendría el equipo hidroneumático, donde el caudal de bombeo medio va a ser de 29.4 l/min (0.49 l/s), el número de bombas es 1, presión de encendido ( $P_{ON}$ ) es al menos 15 m.c.a por arriba de la altura del techo (4.21 m) resultando 19.21 m.c.a, mientras la presión de apagado ( $P_{OFF}$ ) es hasta 20 m.c.a mayor a la presión de encendido, es decir, 39.21 m.c.a, el número de ciclos ( $N_{ciclos}$ ) es determinado por la tabla 10 siendo de 20 (ciclos/hora), ya que la potencia de absorción de la bomba es de ½ HP y el coeficiente que

relaciona el tipo de renovación de aire se toma de 2.0 debido a que será inyección manual. Demostrando el siguiente resultado.

$$W_{thn} = \frac{19 * R_{aire} * Q_b * (P_{OFF} + 10.33)}{N_{bombas} * N_{ciclos} * (P_{OFF} - P_{ON})}$$

$$W_{thn} = \frac{19 * 2 * 0.49 \text{ l/s} * (39.21 \text{ m. c. a} + 10.33)}{1 * 20 \text{ ciclos/hr} * (39.21 \text{ m. c. a} - 19.21 \text{ m. c. a})} = 138.36 \text{ l}$$

### 5.3.2 Actualizar el estudio topográfico de la REDAP del sector Togueros de manera que se ubique los puntos de demanda de caudal

En la actualidad es conocido por parte de las autoridades de la parroquia de San Pedro de la Bendita que la REDAP actual presenta inconvenientes por la creciente demanda de usuarios permanentes y vacacionales, por ello se consideró instalar una nueva REDAP. En lo relativo con el barrio Togueros cuenta con una extensión de  $0.44 \text{ km}^2$  y un perímetro de aproximadamente de 2.69 km, mostrado en la figura 37.

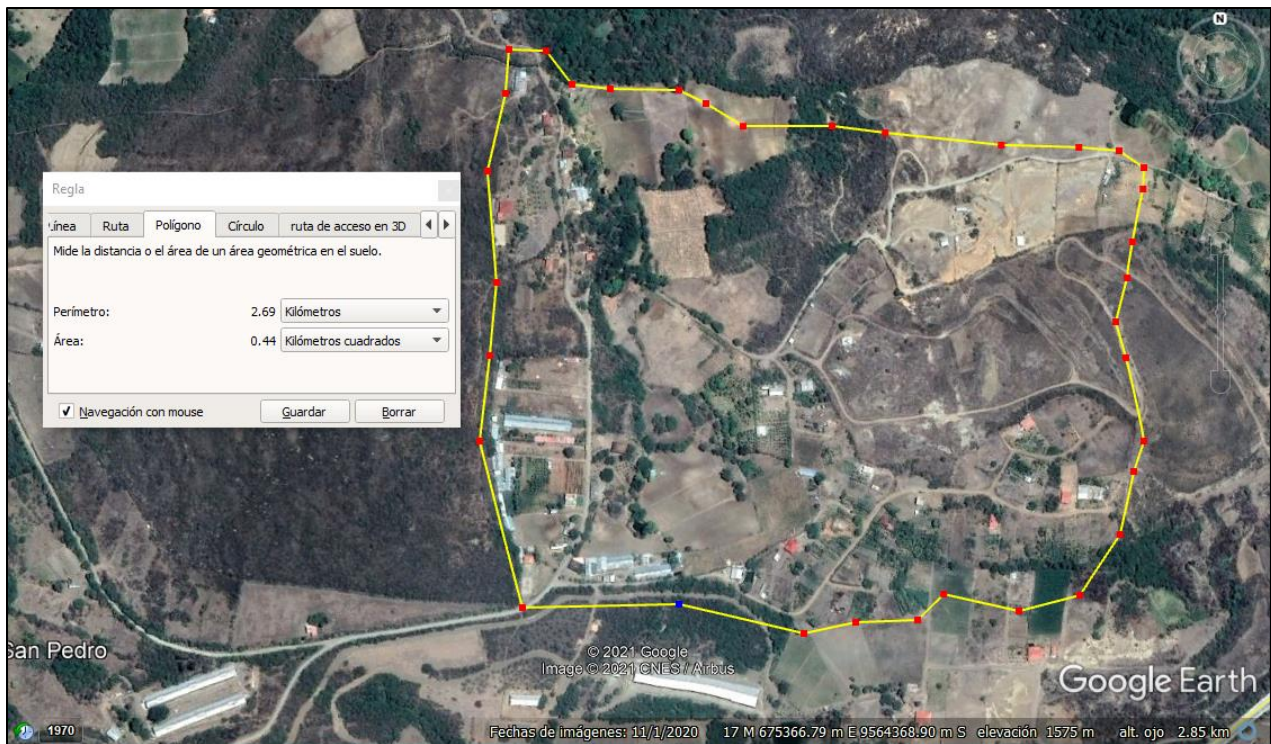


Figura 37. Barrio Togueros y sus Mediciones

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Google Earth Pro.*

Es importante conocer la disposición actual de la REDAP, misma que fue proporcionada por la junta parroquial de San Pedro de la Bendita en un proyecto ya ejecutado en el año 2019,

donde en la figura 38 se muestra los tramos de la red. Y en el anexo 15 se muestra la distribución de agua potable de todo el pueblo de San Pedro de la Bendita.



Figura 38. REDAP Actual

*Nota. Fuente: Mapa aéreo de AutoCAD*

Por otro lado, con el ánimo de investigar el comportamiento de otras REDAP aledañas al área de interés, se hizo gestiones para conseguir la planimetría de la ciudadela Oasis Togueros (mostrada en el recuadro de la Figura 39).



Figura 39. Ciudadela Oasis de Togueros

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Google Earth Pro.*

Se tomó la información de la planimetría de la ciudadela de Oasis Togueros y se añadió las nuevas demandas con uso del programa Google Earth Pro, y luego se llevó dicha información a AutoCAD (anexo 16), logrando ubicar tanto las nuevas y actuales demandas a la REDAP. Dando como resultados 98 viviendas y lotes, para su posterior análisis mostrada en la figura 40.

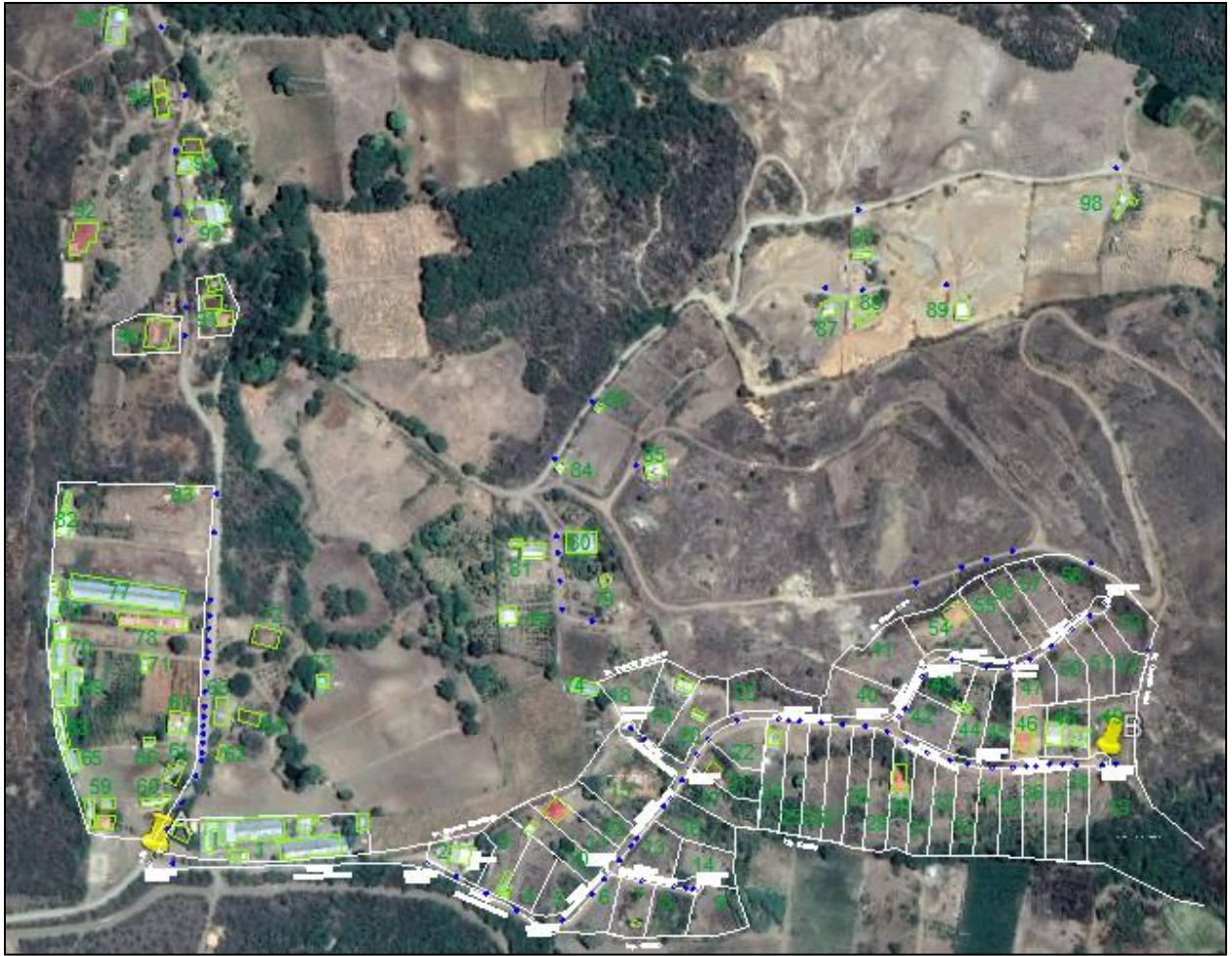



Figura 40. Ubicación de Puntos de Demanda

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Google Earth Pro.*

Además, para ubicación de los puntos de demanda se empleó coordenadas UTM (universal transversal de Mercator) por su facilidad de ubicación e interpretación, siendo la zona 17 M la de estudio, dotando de información al programa de Google Earth Pro, mostrada en la figura 41, se pudo conocer las elevaciones de dichos puntos al ubicar el ratón encima de ese punto dando su elevación en la parte inferior derecha de la figura 42.

Google Earth - Editar Marca de posición

Nombre:  

Zona:

Coordenada Este:

Coordenada Norte:

Descripción | Estilo, color | Ver | Altitud

Centrar en la vista

Latitud:

Longitud:

Alcance:

Encabezado:

Inclinación:

Fecha/hora:

Figura 41. Coordenadas UTM y geográfica del Punto 1 en Google Earth Pro  
*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Google Earth Pro.*

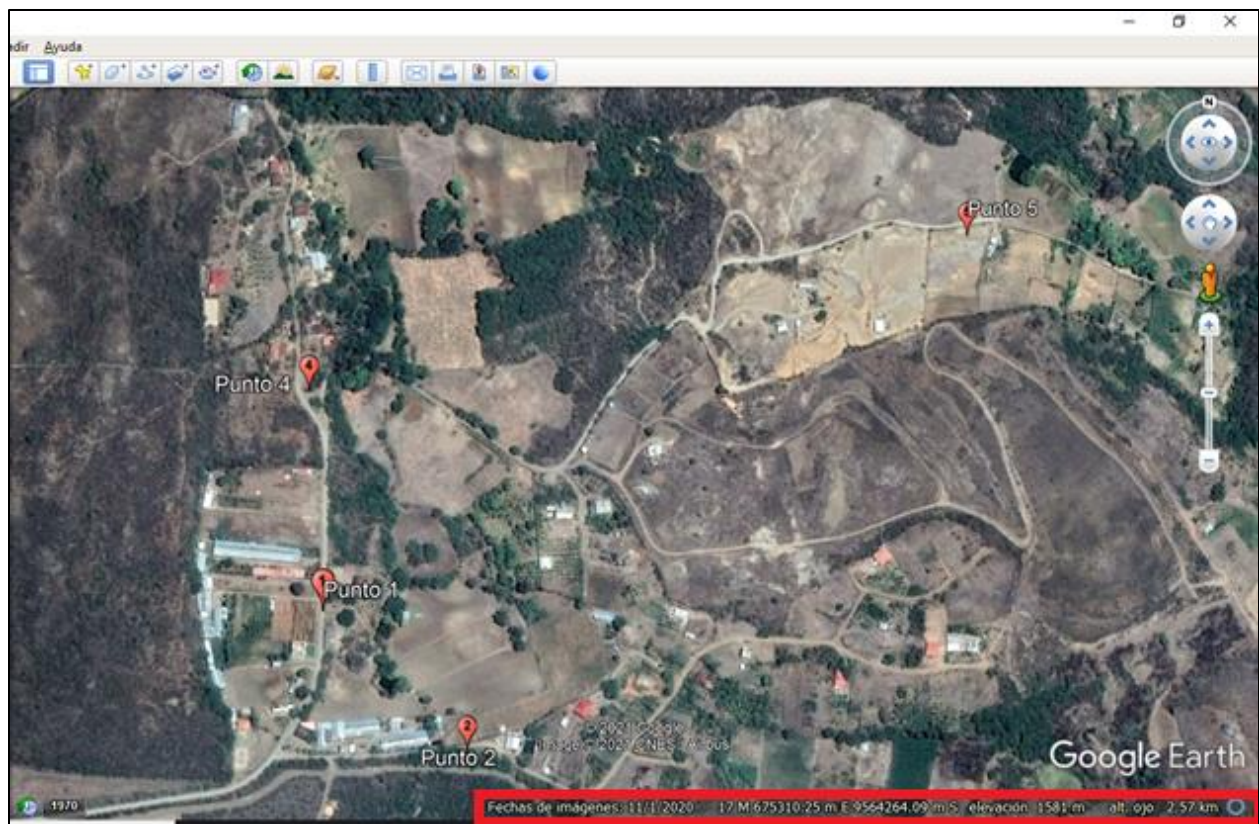


Figura 42. Cota de Elevación del Punto 1 de Ejemplo

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Google Earth Pro.*

Además, se conoció la presión real de las tuberías gracias a que se simuló desde la fuente de alimentación ubicada en las coordenadas (UTM) E: 673478.00 y S: 9564199.00, véase la figura 43, en anexo 1 se detallará una fotografía del lugar.

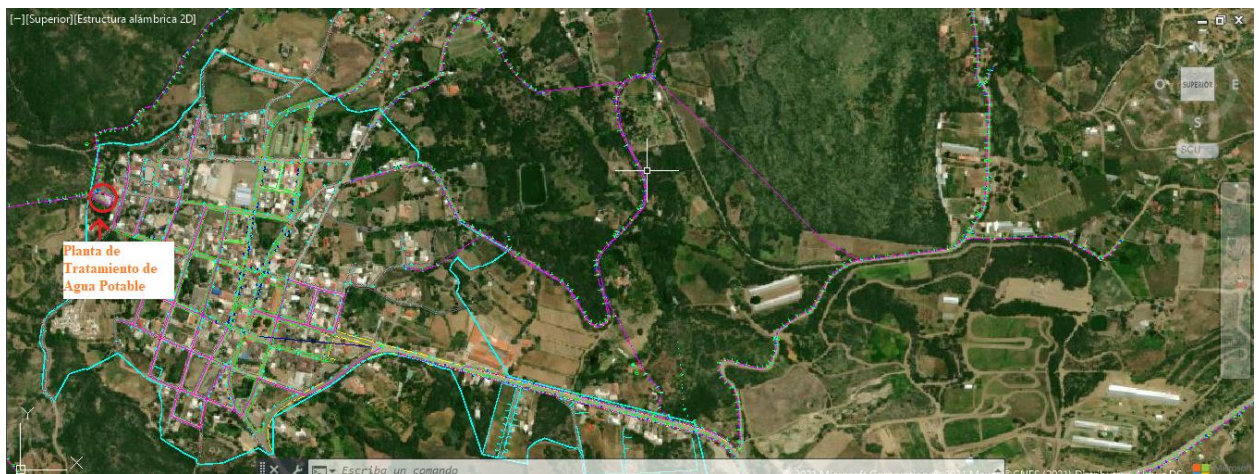
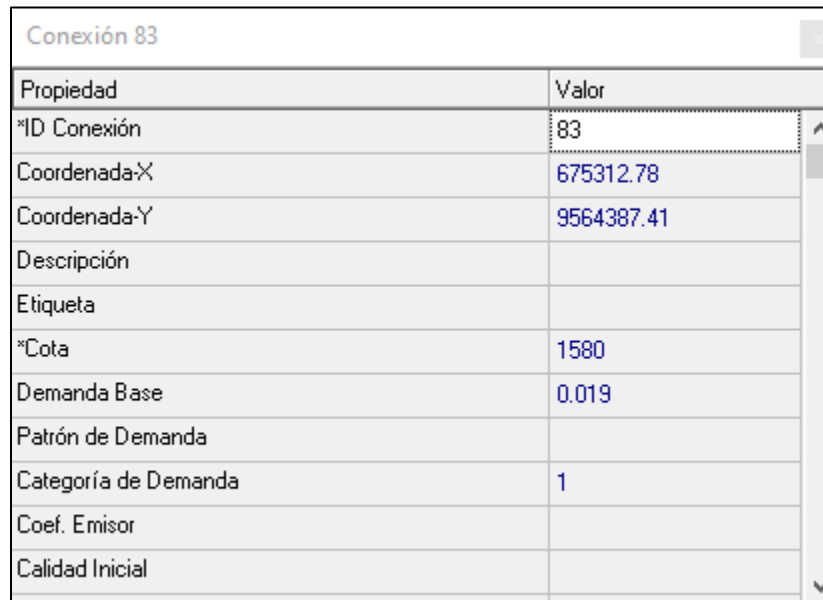


Figura 43. Planta de Tratamiento de Agua Potable de San Pedro de la Bendita

*Nota. Fuente: Mapa aéreo de AutoCAD*

### 5.3.3 Simular los parámetros hidráulicos y energéticos de la red externa de agua potable, de que se optimice su uso

Se simuló la REDAP usando Epanet, donde al ingresar en su interfaz se requiere de datos para diferentes propiedades de elementos hidráulicos. En la sección 4.6.3 de marco teórico se presenta la descripción de cada una. A continuación, se presenta las propiedades de una conexión mostrada en la figura 44.



Propiedad	Valor
*ID Conexión	83
Coordenada-X	675312.78
Coordenada-Y	9564387.41
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	1580
Demanda Base	0.019
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	

Figura 44. Propiedades de una Conexión 83 de Consumo

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.

- **ID Nudo:** 83
- **Coordenadas X e Y:** Se usó coordenadas UTM zona 17M
- **Cota:** Se aplicó el software Google Earth Pro para conocer su elevación en (m)
- **Demanda Base:** 0.025 l/s para el método INEN y 0.49 l/s para el método NEC.

Mientras que para las tuberías se ubicó las siguientes propiedades, mostrada en la figura 45.



Tubería p92	
Propiedad	Valor
*ID Tubería	p92
*Nudo Inicial	77
*Nudo Final	82
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	46.88
*Diámetro	24.3
*Rugosidad	0.0015
Coef. de Pérdidas	2.1
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	

Figura 45. Ventana de Propiedades de Tuberías de Epanet

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

Donde:

- **Diámetro:** Dependiente de la presión, si es muy alta se escoge un diámetro más alto y lo mismo si la velocidad es muy alta, que estén entre los rangos mencionados en la revisión literaria.
- **Longitud:** Al trabajar en coordenadas UTM y transportar la REDAP de AutoCAD a Epanet gracias al programa EpaCAD estas longitudes se colocan de manera automática.
- **Rugosidad:** Se consideró las tablas 1 y 2 que para un material PVC.
- **Coefficientes de pérdidas:** En la tabla 7 se muestran sus valores, según el fabricante la longitud de tubería es de 6 metros, por tal motivo cada 6 metros habrá una unión.
- **Estado inicial:** Siempre abierta.

Se colocó válvulas de retención debido a que existe un gran desnivel entre nudos, por tal razón el software permite ubicar válvulas reductoras de presión como se observa en la figura 46 de la ventana de propiedades, la cual solicita ingresar los siguientes datos:

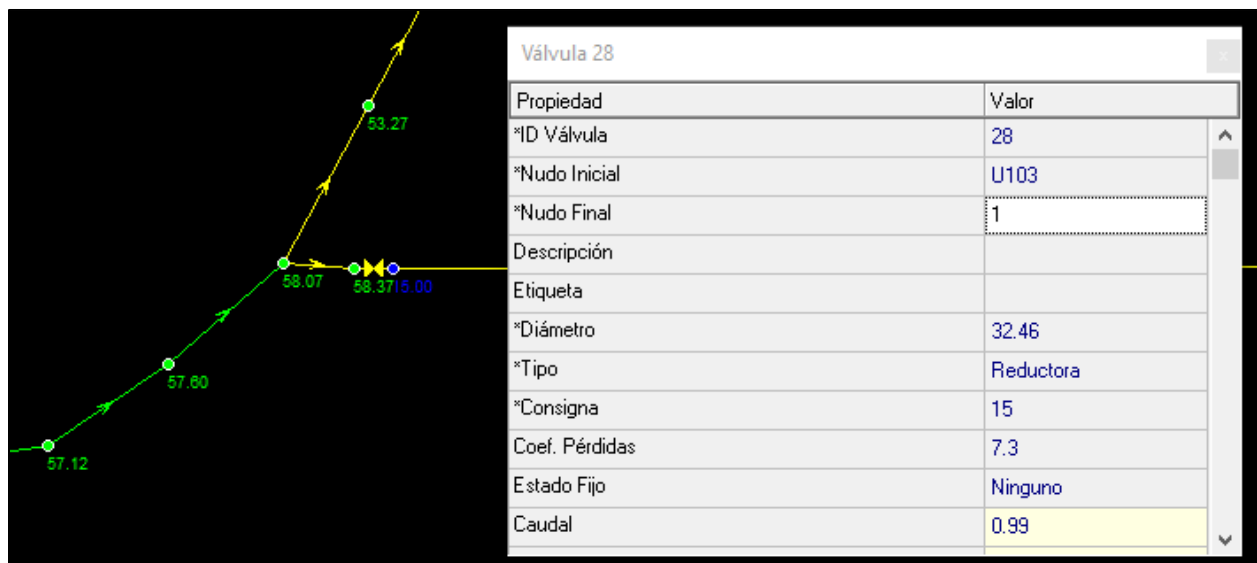


Figura 46. Simulación de una Válvula Reductora de Presión

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.

- **Diámetro:** De acuerdo con el diámetro de tubería a la que se une.
- **Tipo:** Reductora de presión.
- **Consigna:** Se reguló con 15 m.c.a como indica en la NEC-11.
- **Coefficiente de Pérdidas:** Se seleccionó del catálogo del fabricante, siendo dependiente del diámetro mostrada en la tabla 17.

Tabla 17. Válvula Reductora de Presión con Asiento Equilibrado

Tamaño de conexión	R	½ ”	¾ ”	1”	1 ¼ ”	1 ½ ”	2”
Diámetro nominal	DN	15	20	25	32	40	50
Peso	kg	0.65	0.82	1.35	2.20	3.09	4.46
Dimensiones	mm						
	L	155	163	176	207	216	257
	I	95	95	97	115	120.5	140
	H	124	124	124	188	186.5	188
	h	26	26	27.6	34	34	34
Valor kvs		3.0	3.5	3.7	7.3	7.5	7.7

Nota. Fuente: (Honeywell, n.d.)

## 6. Resultados

### 6.1 Demanda de caudal en la REDAP y RIDAP

A través de los cálculos demostrados en la sección 5.3.1 se caracterizó las demandas de suministro de agua potable en la REDAP del barrio Togueros, donde con la ayuda de la tabla 18 se expone un resumen de los resultados alcanzados.

Tabla 18. Resumen de resultados obtenidos por el método de dotación diaria

Variable	Descripción	Resultado	Unidad
$P_f$	Población Futura	6	hab
$Q_m$	Caudal medio anual	0.008	l/s
$Q_{MD}$	Caudal máximo diario	0.01	l/s
$Q_{MH}$	Caudal máximo horario	0.025	l/s

*Nota. Fuente: Elaboración propia*

En cambio, para los resultados obtenidos por el método de caudal instantáneo en la RIDAP se presenta en la tabla 19.

Tabla 19. Resumen de resultados obtenidos por el método de caudal instantáneo

Variable	Descripción	Resultado	Unidad
$k_S$	Factor de simultaneidad	0.41	Adimensional
$\sum Q_t$	Caudal instantáneo total	0.49	l/s
$f$	Factor de fricción	0.021	Adimensional
$h_p$	Pérdida primaria	13.76	m
$h_s$	Pérdida secundaria	6.96	m
$h_L$	Pérdidas totales	20.72	m
$h_A$	Carga agregada	16.61	m
$P_H$	Potencia hidráulica	0.08	kW
$V$	Volumen de la cisterna	600	l
$W_{thn}$	Volumen del equipo hidroneumático	138.36	l

**Fuente:** Elaboración propia

### 6.2 Extracción de cotas de elevación

Mediante la opción de ruta y perfil de elevación proporcionada por el software Google Earth Pro, se extrajo las cotas de elevación de cada punto de demanda de la REDAP, véase la figura 47.

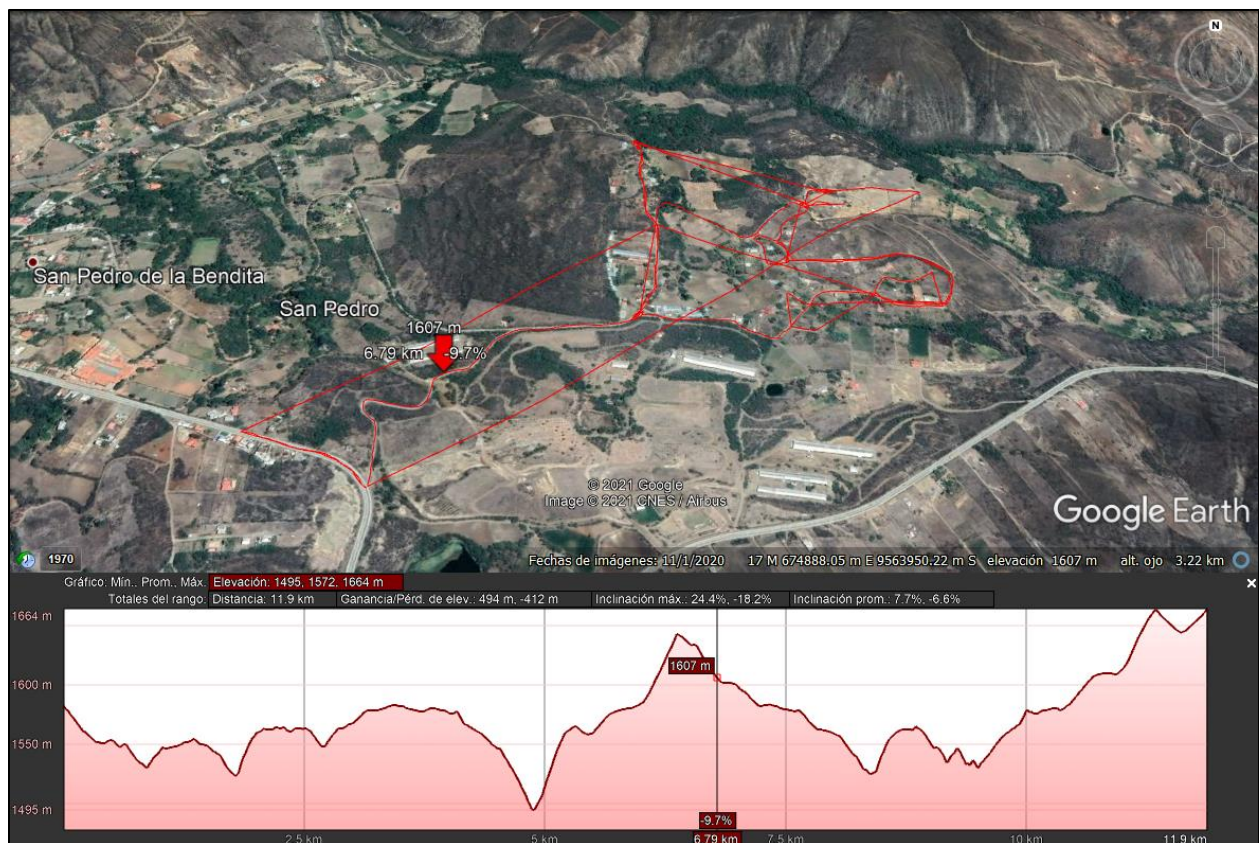


Figura 47. Ruta y perfil de elevación de los puntos de demanda de la REDAP

Nota. Fuente: Elaboración propia con base a datos de Google Earth Pro.

### 6.3 Resultados de simulación

Antes de mostrar resultados definitivos es necesario evidenciar el estado actual de la REDAP con el caudal instantáneo medido en una vivienda del sector Togueros, el cual consistió en llenar un balde de 19 l (anexo 9 se muestra el balde) en un tiempo medido de 148 segundos (2 min: 28seg)

Siendo su caudal instantáneo de 0.13 l/s que al ser colocado en la ventana de propiedades de los nudos (figura 48) y ser simulado con los diámetros actuales de tubería plastigama roscable (tabla 20), se tomó dichos diámetros para simular y observar el comportamiento de la REDAP véase figura 49.

Tabla 20. Especificaciones técnicas de la tubería plastigama roscable de PVC

Diámetro	CÓD.	Especificaciones		Presión de trabajo			
		Diám. Exterior	Espesor	Diám. Interior	psi	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>
Plg		mm	Mm	mm			
½	926092	21.34	3.73	13.88	420	2.90	29.5
¾	926094	26.67	3.91	18.85	340	2.34	23.9

1	926091	33.40	4.55	24.30	320	2.21	22.5
1 ¼	926090	42.16	4.85	32.46	260	1.79	18.3
1 ½	926089	48.26	5.08	38.10	240	1.65	16.9
2	926093	60.32	5.54	49.24	200	1.38	14.1

Nota. Fuente: (Plastigama, 2019)

Conexión 52	
Propiedad	Valor
*ID Conexión	52
Coordenada-X	675922.57
Coordenada-Y	9564302.68
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	1538
Demanda Base	0.13
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Demanda Actual	No Disponible
Altura Total	No Disponible
Presión	No Disponible
Calidad	No Disponible

Figura 48. Colocación de demanda base medida en nudos de consumos

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.

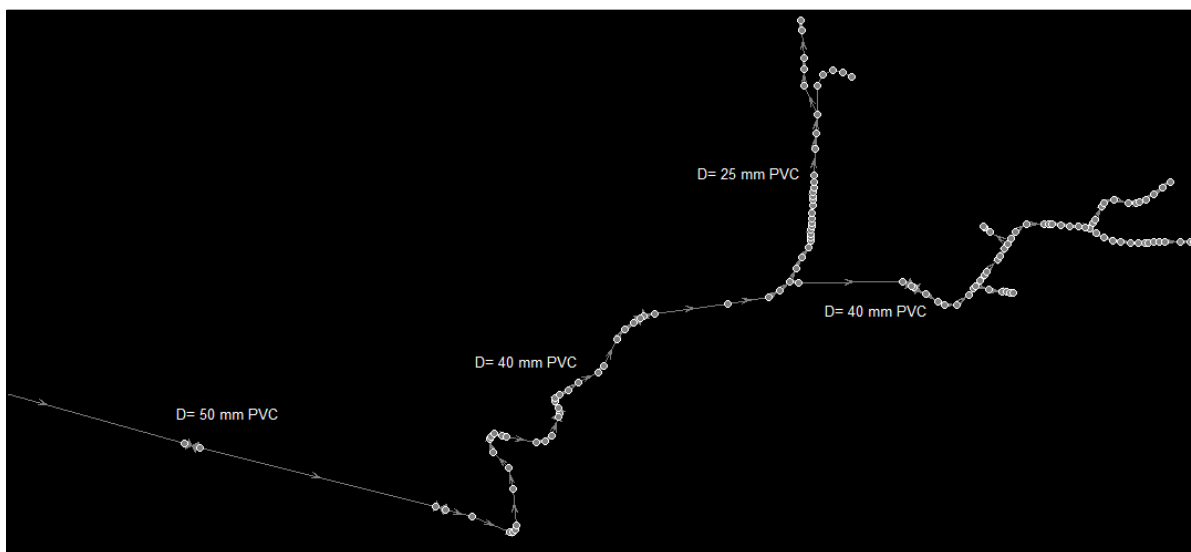


Figura 49. Disposición actual de la REDAP de Togueros

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.

Ubicados los valores y simulada la REDAP se presenta los siguientes errores, mostrados en las figuras 50, 51 y 52, donde se muestran presiones negativas en los diferentes nudos y también velocidades fuera de los límites a lo recomendado por la NEC-11 en diferentes sectores de la REDAP.

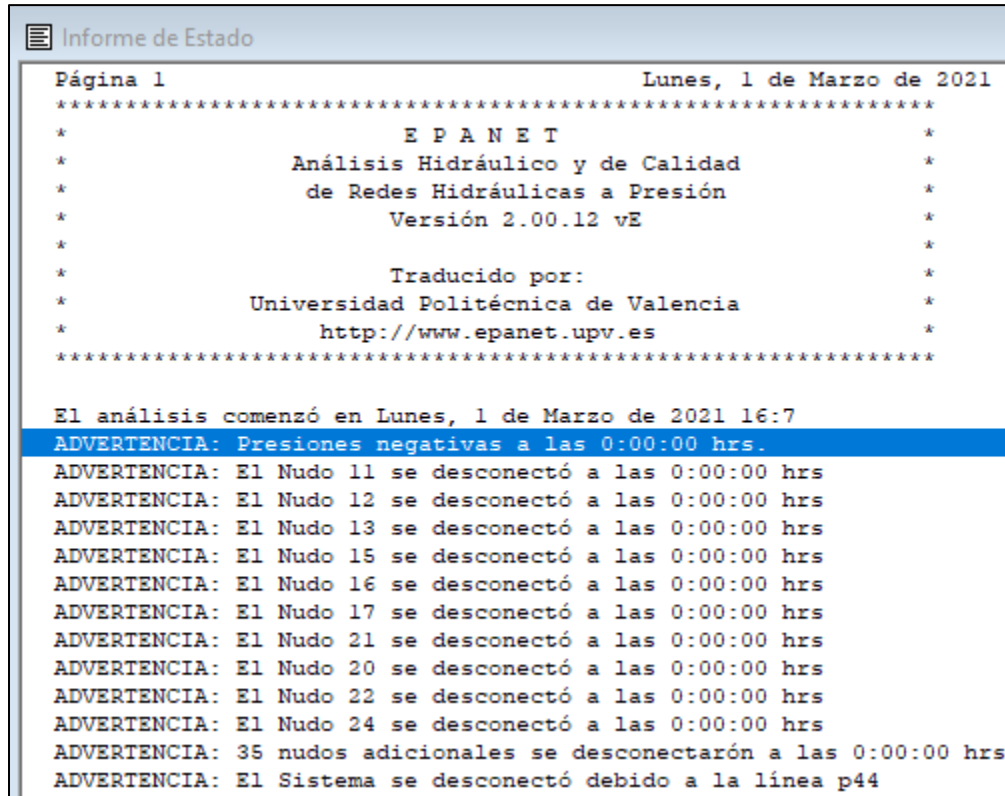


Figura 50. Mensajes de Error de la REDAP Actual  
 Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.

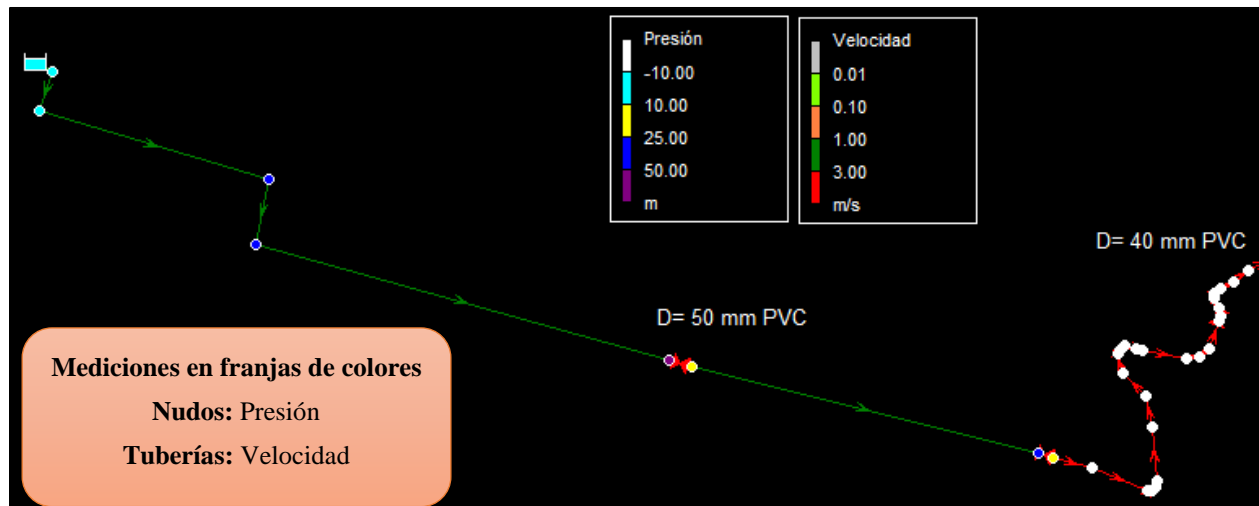


Figura 51. Simulación de la REDAP actual del sector Togueros simulando Presiones y Velocidades

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.

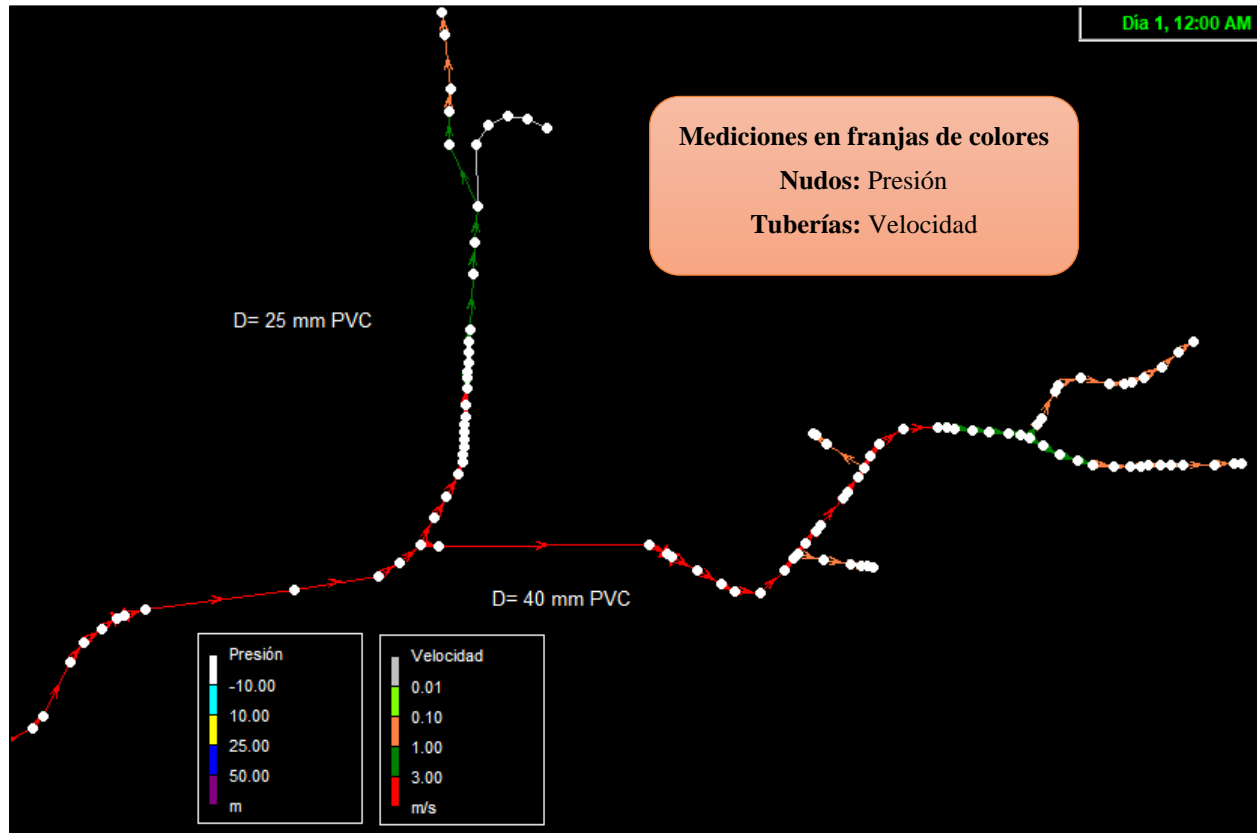


Figura 52. REDAP actual del sector Togueros simulando Presiones y Velocidades

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.

A continuación, se detalla los resultados obtenidos de los diferentes métodos de cálculo tanto para la REDAP y RIDAP del sistema.

### 6.3.1 Simulación de REDAP por el método de dotación diaria (per cápita)

Como ya se calculó la demanda base para este tipo de metodología, la cual es de 0.025 l/s por vivienda o lote, que representa el caudal máximo horario o de diseño, contemplando el nivel de servicio, población futura, periodo de diseño y clima del sector Togueros, exponiendo la siguiente distribución de la REDAP, véase las figuras 53 y 54.

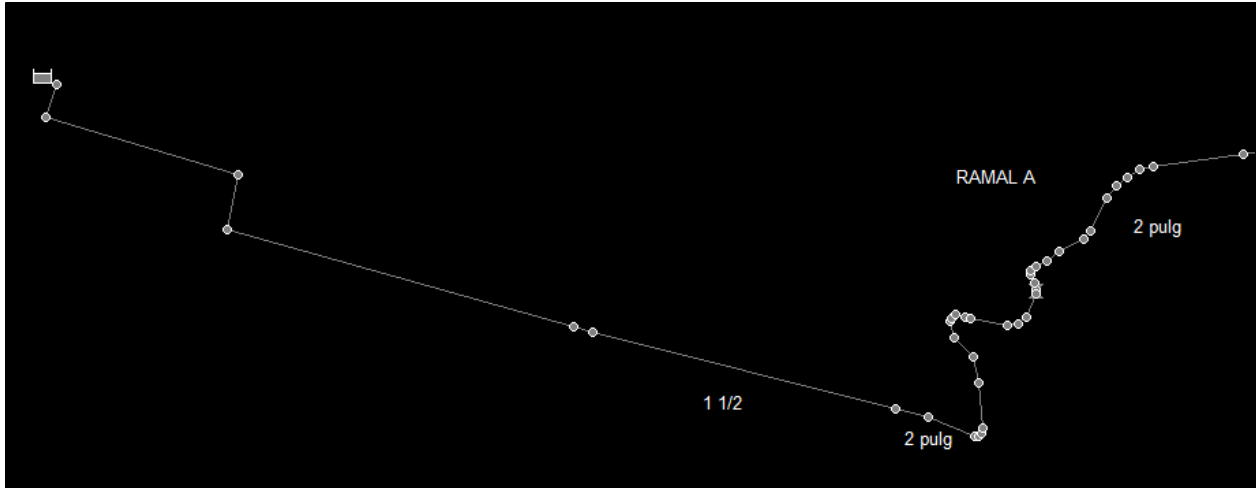


Figura 53. Distribución de la REDAP por el método per cápita, parte 1

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

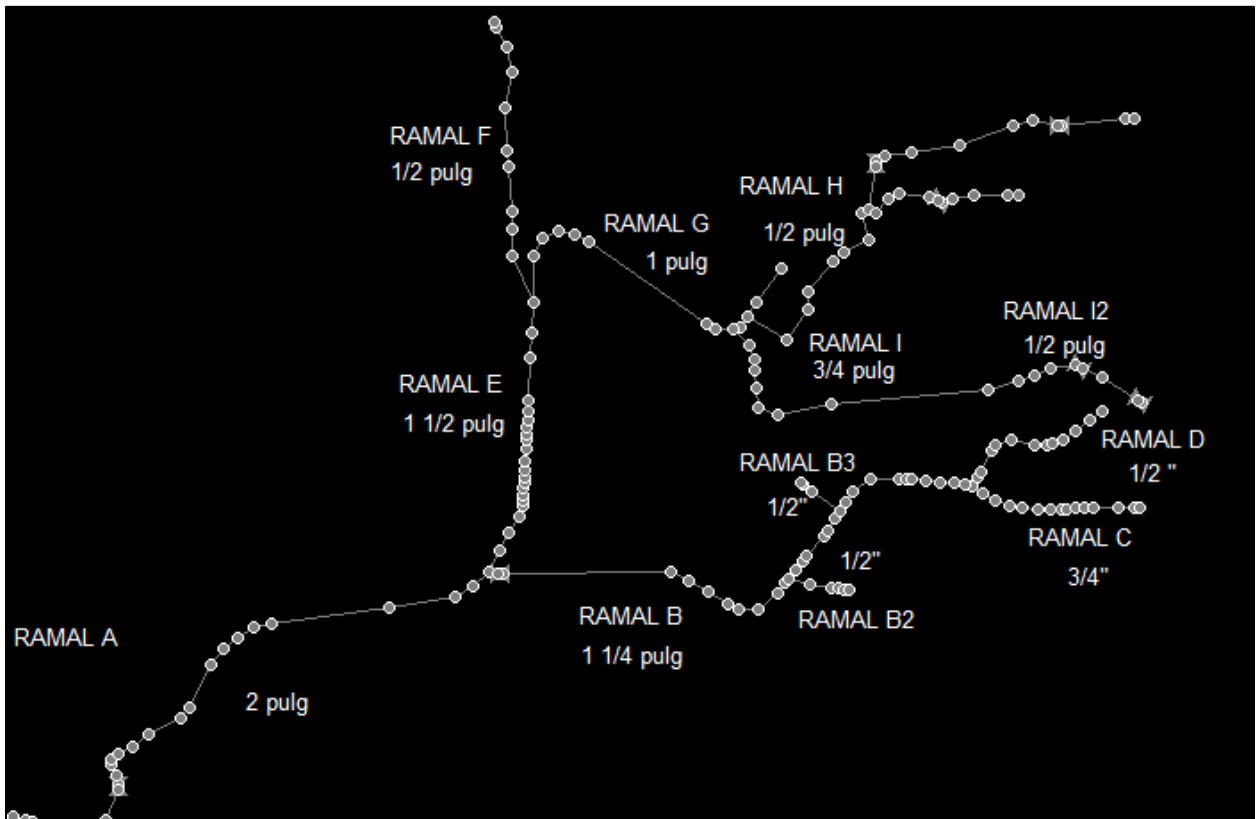


Figura 54. Distribución de la REDAP por el método per cápita, parte 2

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

Donde con la ayuda de la tabla 21 se aprecian los diámetros y presiones que soportan las tuberías de los ramales de la REDAP simulada.



Tabla 21. Resumen de los diámetros nominales de la REDAP

Ramales	Método INEN 5		
	Diámetros Nominales (in)	Diámetros Nominales (mm)	Presión de Trabajo (MPa)
A	2	63	1.38
B	1 ¼	40	1.79
B2	½	20	2.90
B3	½	20	2.90
C	¾	25	2.34
D	½	20	2.90
E	1 ½	32	1.65
F	½	20	2.90
G	1	32	2.21
H	½	20	2.90
I	¾	25	2.34
I2	½	20	2.90

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Simulando y variando diámetros de tuberías de la REDAP para que no sobrepase los límites de presión establecidos entre 15 a 50 m.c.a y de velocidad entre 0.6 a 2.5 m/s, exponiendo las figuras 55 y 56, donde se enseña en rango de colores los valores de presión (en nudos) y velocidad de todos los ramales de la REDAP (en tuberías).

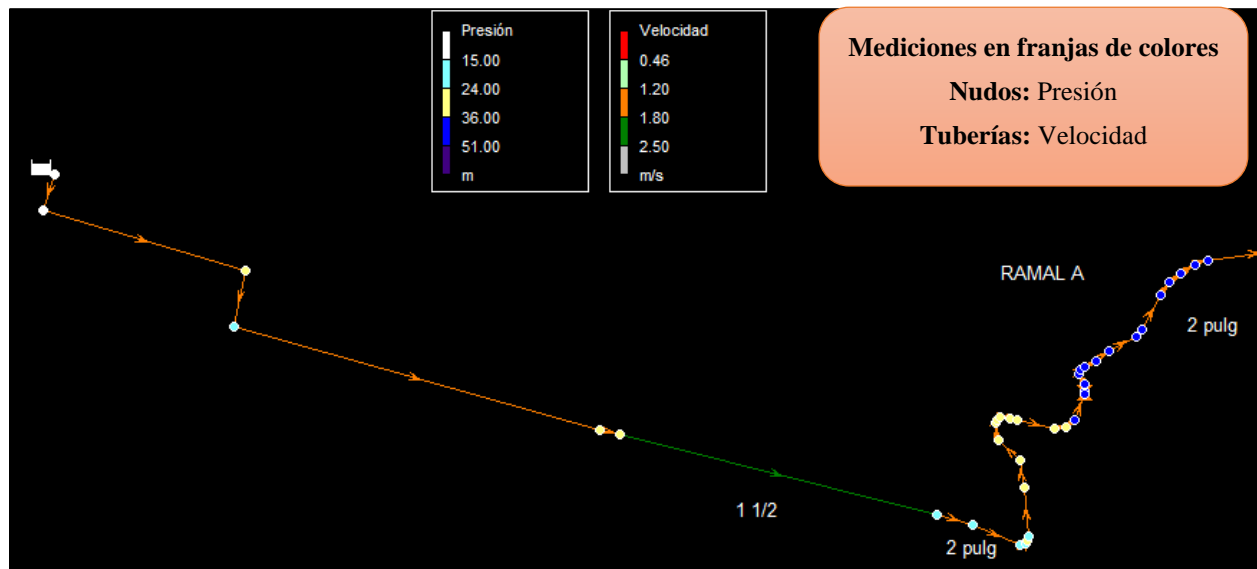


Figura 55. Simulación de la REDAP por el método per cápita, parte 1

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.

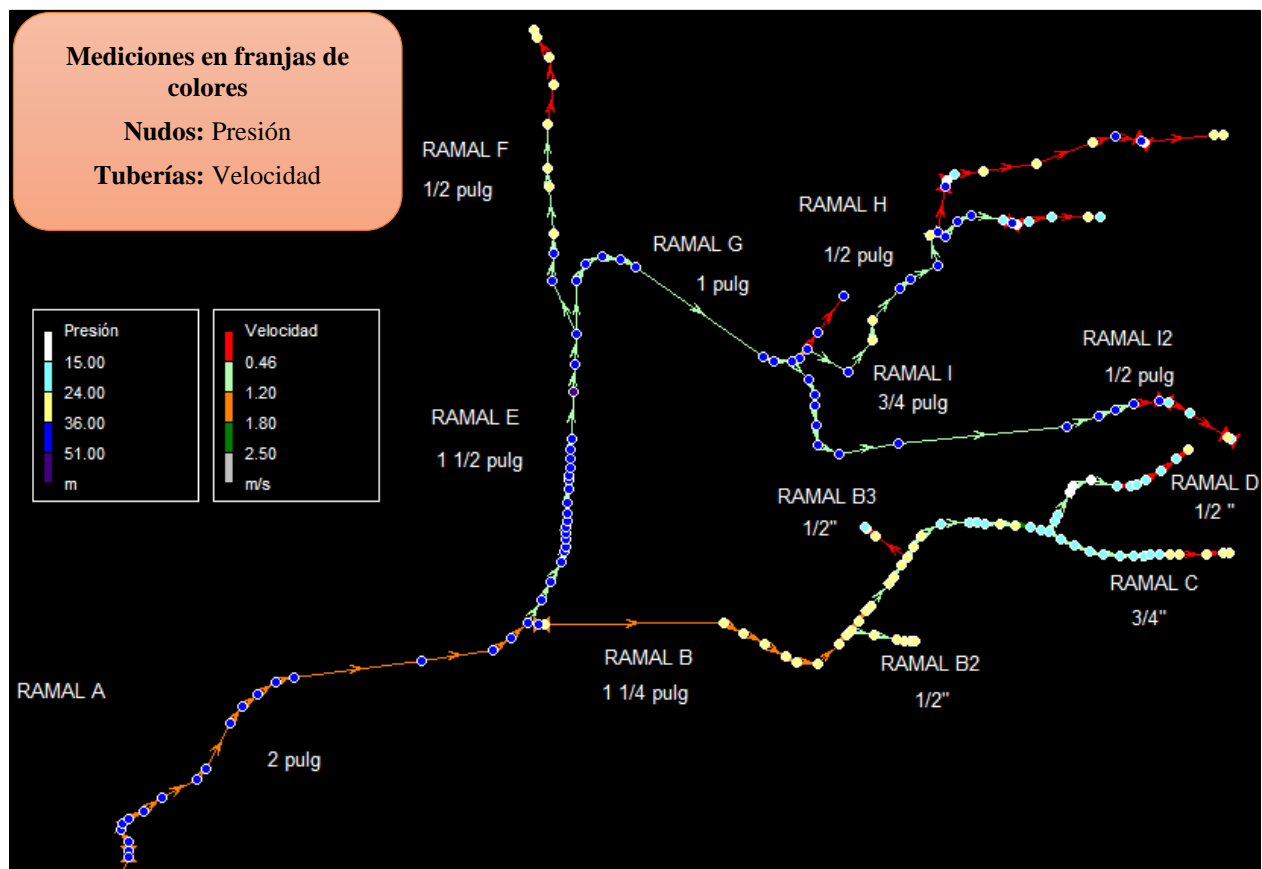


Figura 56. Simulación de la REDAP por el método per cápita, parte 2

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

Para conocer de mejor manera los resultados se presenta una tabla en el anexo 12 donde se resumen los valores de los nudos como cota, demanda y presión, donde no se presentó ningún inconveniente concerniente a la presión en los nudos.

Mientras para controlar las presiones en las acometidas se escogió 7 válvulas reductoras de presión, distribuidas a lo largo de la REDAP, obsérvese la figura 55 y 56. Las pérdidas unitarias son las pérdidas primarias o por fricción que al trabajar con Darcy-Weisbach, el software Epanet las calcula automáticamente y lo mismo con el factor de fricción.

Con respecto a la optimización de la energía, se realizó 3 modelos de REDAP con diferentes diámetros de tuberías para la obtención de unas gráficas de energía de presión en los nudos de los ramales más críticos o mayores accesorios (ramales A, E, G, H). Además, se observa en la figura 57 el desnivel entre la planta de tratamiento y el ramal crítico de estudio.

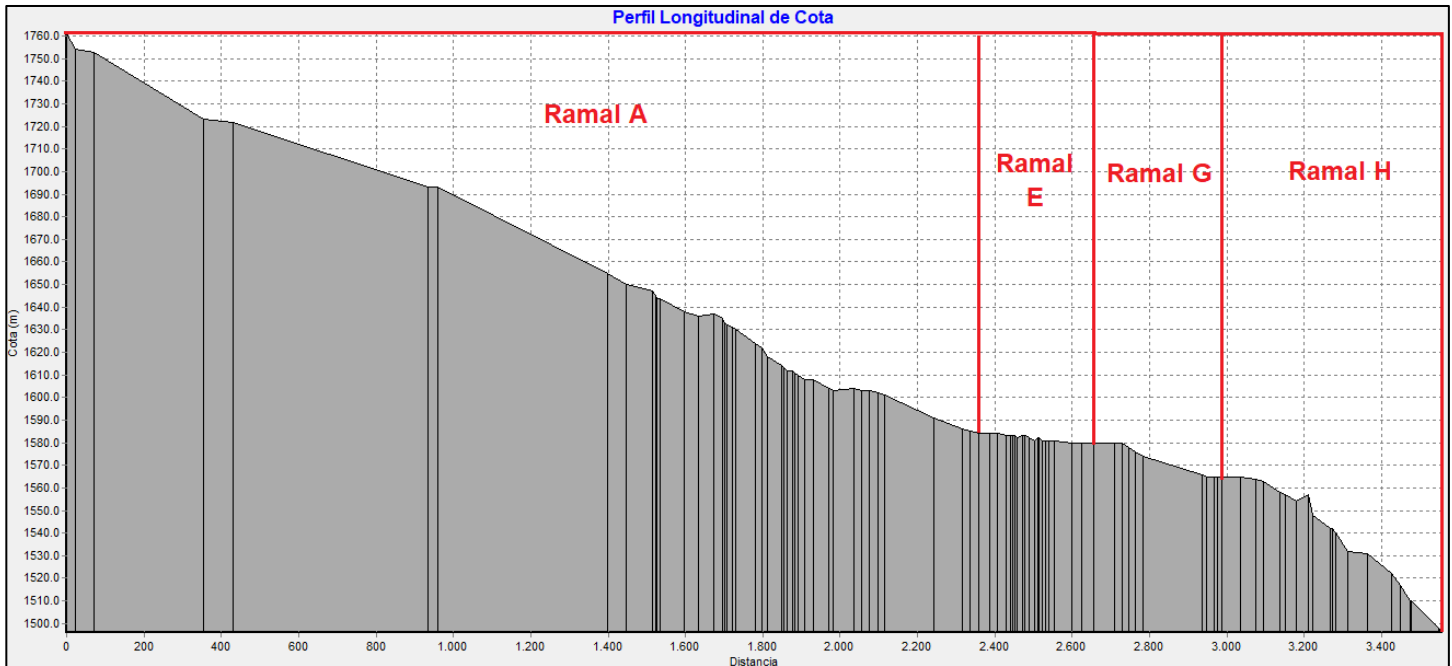


Figura 57. Perfil Longitudinal de Cota

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

En el primer modelo se toma en cuenta los diámetros de tuberías vista en la tabla 21, mostrando la figura 58 en la cual se aprecia la energía de presión o cabezal hidráulico en los nudos del ramal crítico de la REDAP, evidenciando que la presión se encuentra por arriba de los 15 m.c.a y máximo 50 m.c.a, esto significa que el fluido viajará adecuadamente por el sistema, ya que debido a la energía aportada por la gravedad (desnivel entre la fuente y las demandas figura 57) es transformada en energía de presión.

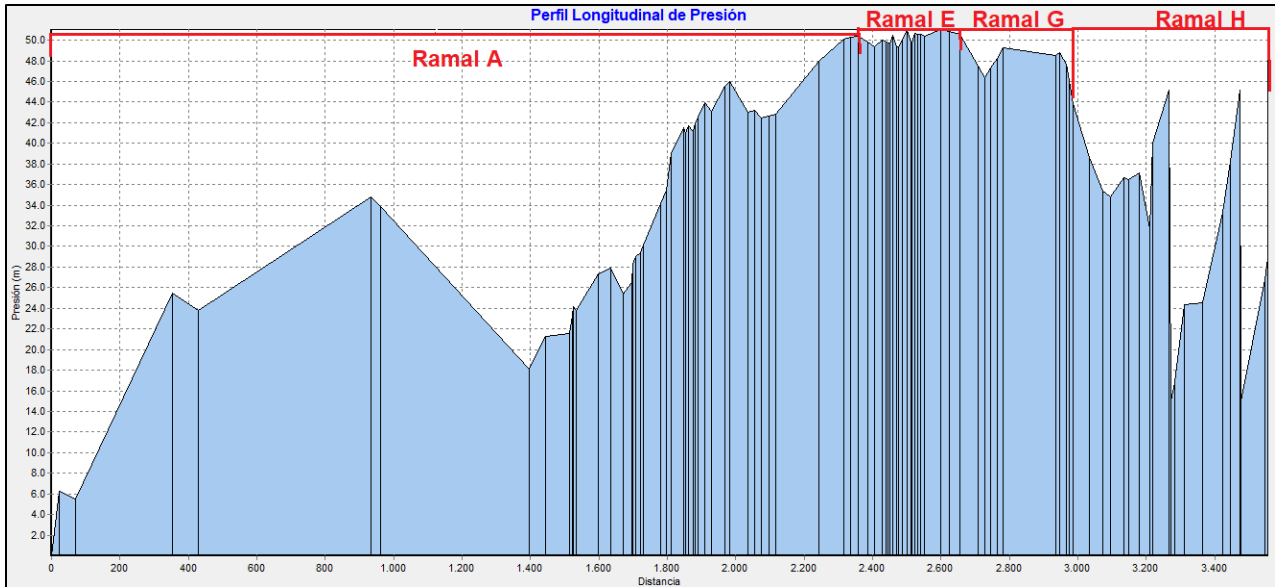


Figura 58. Perfil Longitudinal de Presión modelo 1.

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

En el segundo modelo se colocó tuberías mayores a la que se muestran en el modelo 1 (en los ramales E, G, H con diámetros de tuberías de 2, 1 ¼, ¾ in respectivamente), resultando sobrepresiones en los ramales E, G y H vista en la figura 59.

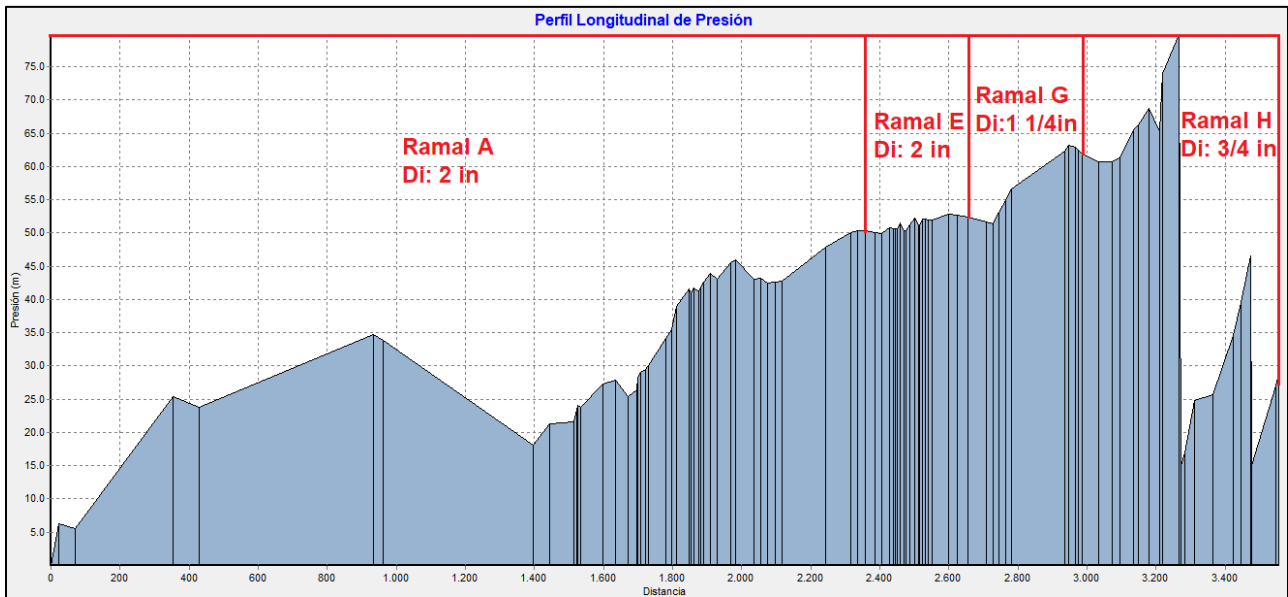


Figura 59. Perfil Longitudinal de Presión modelo 2.

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

En cambio, en el tercer modelo se cambió los diámetros a unos menores a la mostrada en el modelo 1 presentada en la figura 60 (donde los ramales E, G se cambiaron sus diámetros de tuberías a 1 ¼, ¾ respectivamente), mostrándolo una mejoría respecto al modelo 2, ya que no existen sobrepresiones, mientras con relación al modelo 1 son idénticos excepto en las velocidades del fluido, concluyendo que el mejor modelo es el número 1.

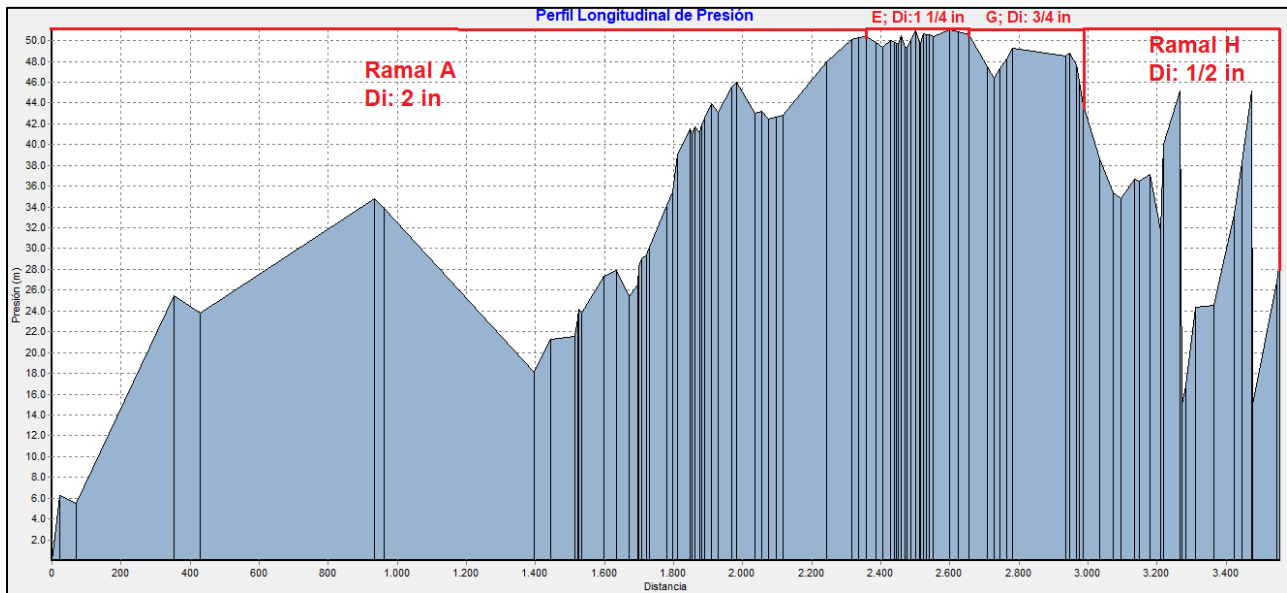


Figura 60. Perfil Longitudinal de Presión modelo 3.

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

Contemplado el primer modelo se demuestra que la velocidad en las tuberías se encuentra entre los rangos de 0.17 m/s a 2.24 m/s visto en la tabla del anexo 13 (resaltadas con color amarillo) donde se muestra un resumen de los resultados de las tuberías, siendo justas a lo que indica la normativa NEC-11, excepto las velocidades de 0.17 m/s debido a que su demanda se encuentra en el extremo o se ubica en los ramales H, I2, para aquello se recomienda colocar un sistema de bombeo en la RIDAP para incrementar su velocidad, realizado un análisis a la red interna de agua potable (RIDAP) de una vivienda tipo del sector.

Finalmente, en el anexo 19 se coloca la memoria técnica del este proyecto, siguiendo el formato común entre ingenieros civiles realizados para sistemas de agua potable.

### 6.3.2 Simulación de la RIDAP por el método de caudal instantáneo

Al considerar una vivienda tipo del sector y calculando sus variables, se concluye que la potencia hidráulica es de 0.07 hp (0.052 kW), carga agregada de la bomba 10.74 m y caudal de diseño de 0.49 l/s es decir 29.4 l/min. Por lo tanto, se buscó información en catálogos de bombas Pedrollo, marca confiable, ver la figura 61.

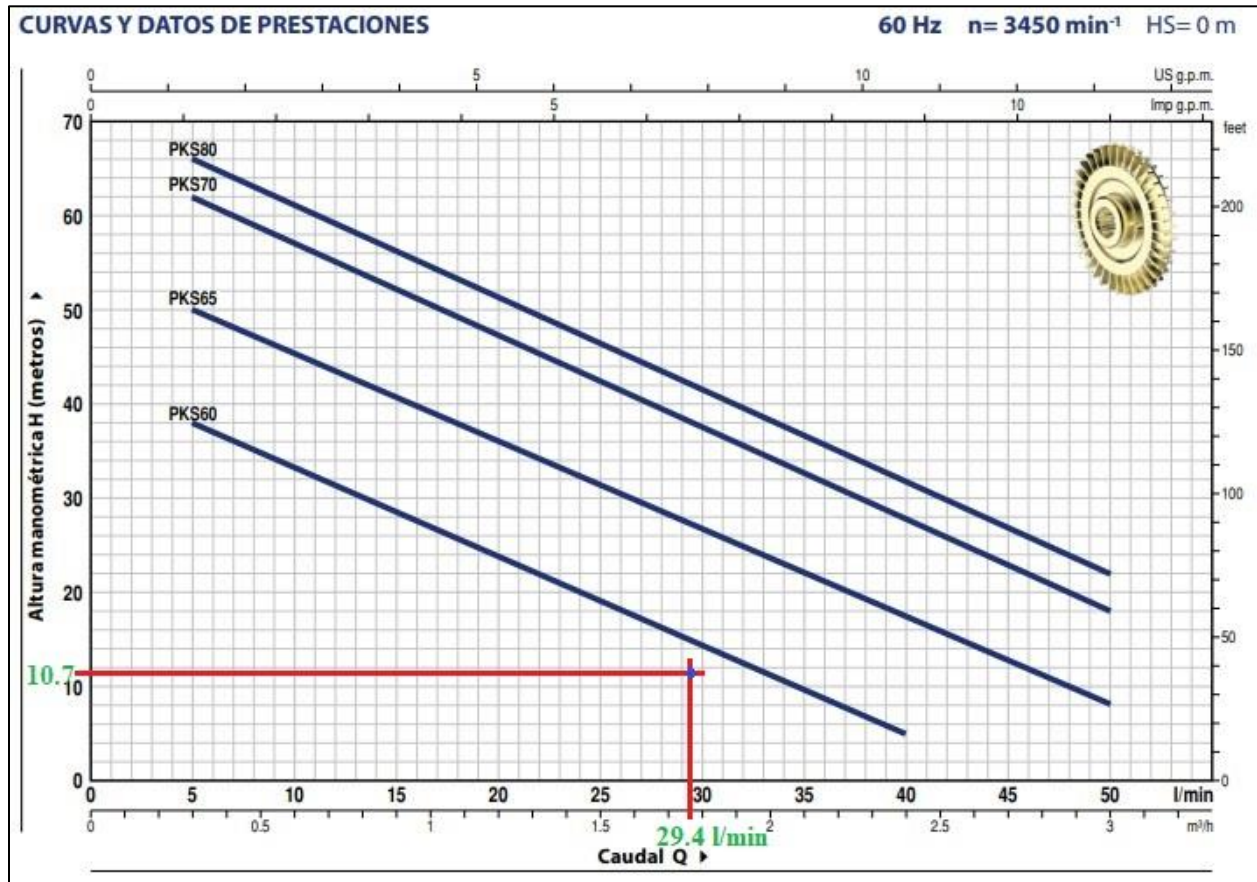


Figura 61. Selección de Bomba Pedrollo

Nota. Fuente: (Pedrollo, 2012)

Siendo el modelo PKS60 el más cercano al punto de diseño, en la tabla 22 se muestran valores de altura y caudal para los diferentes modelos, donde se seleccionó estos valores para el modelo PKS60 para ubicar en la curva característica de la bomba en el software Epanet para su posterior simulación, ver la figura 62.

Tabla 22. Especificaciones de caudal y altura entregada por los modelos PKS

MODELO		POTENCIA (P <sub>2</sub> )		▲	Q	H metros										
Monofásica	Trifásica	kW	HP			m <sup>3</sup> /h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
					l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
PKSm 60	PKS 60	0.37	0.50	IE2	H metros	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5		
PKSm 65	PKS 65	0.55	0.75			55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	12.5	8
PKSm 70	PKS 70	0.60	0.85	IE3		65	62	57	52	47	42	37	32	27	22	18
PKSm 80	PKS 80	0.75	1			70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	27	22

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.  
 ▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

Nota. Fuente: (Pedrollo, 2012)

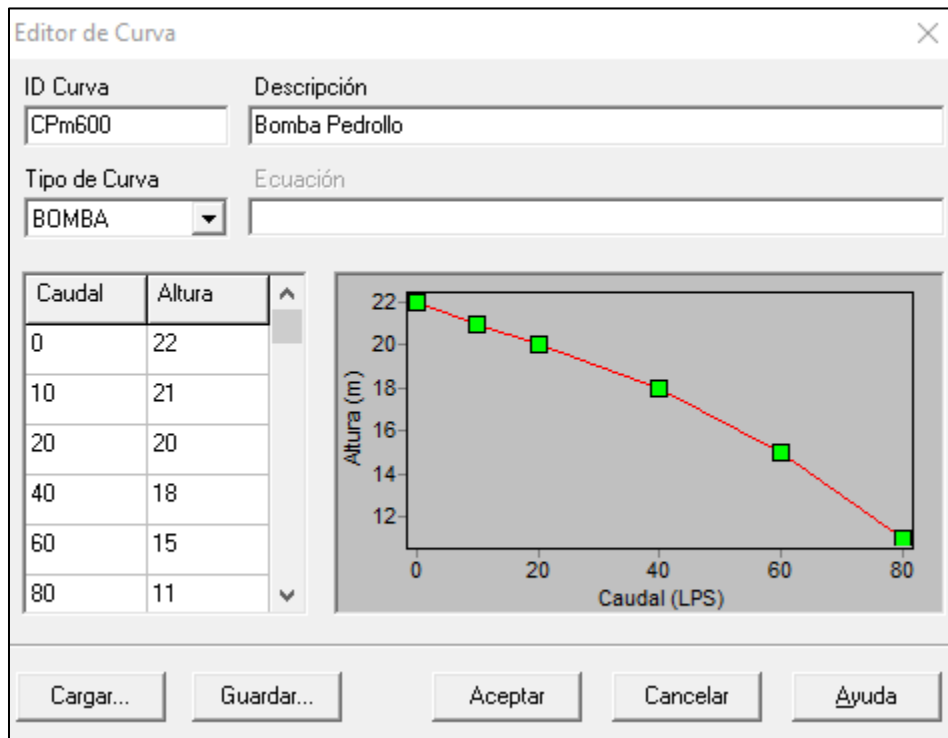


Figura 62. Colocación valores para graficar la curva característica de la Bomba en Epanet

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.

Posterior a esto, se colocó la bomba entre la cisterna y la cortadora (válvula de compuerta), además se colocó las demandas base de los aparatos sanitarios estipulados en la normativa NEC-11 (tabla 9) y la cota en la ventana de propiedades de los nudos figura 63.

Conexión Grifo1	
Propiedad	Valor
*ID Conexión	Grifo1
Coordenada-X	3630.95
Coordenada-Y	272.11
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	1
Demanda Base	0.082
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Demanda Actual	0.08
Altura Total	12.78
Presión	11.78
Calidad	0.00

Figura 63. Ventana de Propiedades de los Nudos

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

Mientras que en la ventana de propiedades de las tuberías de la RIDAP (figura 64), la longitud de tubería se tomó las medidas dadas por el plano arquitectónico de la vivienda tipo (figura 35), el diámetro es de  $\frac{3}{4}$  in (18.85 mm) plastigama para las tuberías interiores, mientras que los coeficientes de pérdidas (k) se las calculó en la sección 5.3.1.2 y ahora se las ubicó en su correspondiente casillero, finalmente la rugosidad es obtenida de la tabla 1.

Obteniendo los siguientes resultados de presión y caudal en la RIDAP, ver la figura 65.



Tubería 3	
Propiedad	Valor
*ID Tubería	3
*Nudo Inicial	Codo1
*Nudo Final	Codo2
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	1.73
*Diámetro	18.85
*Rugosidad	0.0003
Coef. de Pérdidas	0.66
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	0.41
Velocidad	1.47
Pérd. Unit.	181.94
Factor fricción	0.031

Figura 64. Ventana de Propiedades de las Tuberías

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

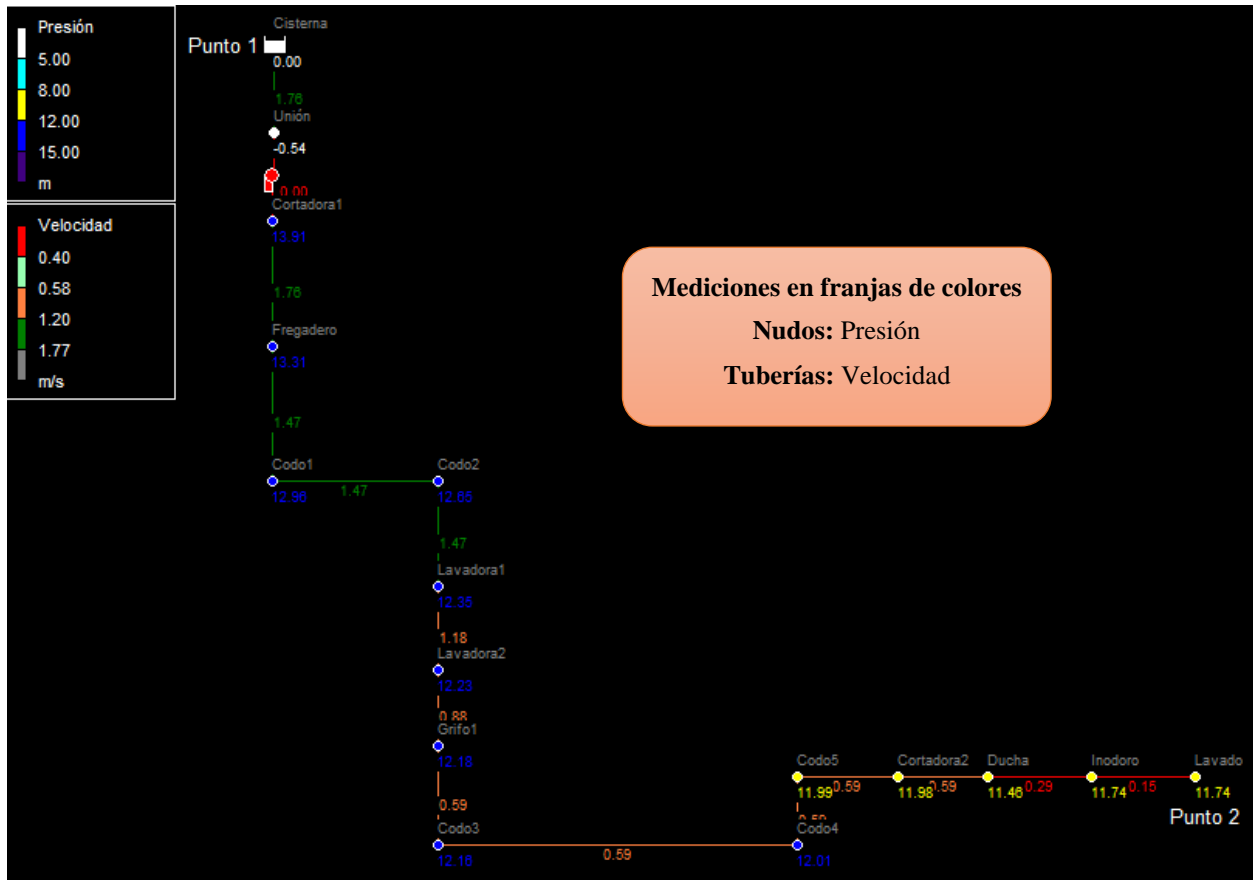


Figura 65. Simulación de RIDAP de vivienda tipo

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

Más específicamente en la tabla 23, se muestran los valores simulados para variables como altura, presión y demanda en los nudos de la RIDAP.

Tabla 23. Resultados Arrojadados de la Simulación de los Nudos de la RIDAP

Tabla de Red – Nudos			
ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m.c.a
Conexión Cortadora1	0.00	14.91	13.91
Conexión Fregadero	0.08	14.31	13.31
Conexión Codo1	0.00	13.96	12.96
Conexión Codo2	0.00	13.65	12.65
Conexión Lavadora1	0.08	13.35	12.35
Conexión Lavadora2	0.08	13.23	12.23
Conexión Grifo1	0.08	13.18	12.18
Conexión Codo3	0.00	13.16	12.16
Conexión Codo4	0.00	13.01	12.01
Conexión Codo5	0.00	12.99	11.99

Conexión Ducha	0.08	12.96	11.46
Conexión Inodoro	0.04	12.94	11.74
Conexión Lavado	0.04	12.94	11.74
Conexión Cortadora2	0.00	12.98	11.98
Conexión Unión	0.00	-0.54	-0.54
Embalse Cisterna	-0.49	0.00	0.00

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

Por otro lado, en la tabla 24 se aprecia los resultados obtenidos de la simulación de las tuberías para variables como: longitud, diámetro, caudal, velocidad, pérdidas unitarias y factor de fricción.

Tabla 24. Resultados de Simulación de Tuberías de la RIDAP

Tabla de Red – Líneas						
ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Factor de Fricción
Tubería 1	2.44	18.85	0.49	1.76	243.01	0.029
Tubería 2	2.17	18.85	0.41	1.47	162.29	0.028
Tubería 3	1.73	18.85	0.41	1.47	181.94	0.031
Tubería 4	1.61	18.85	0.41	1.47	185.07	0.032
Tubería 5	0.94	18.85	0.33	1.18	126.05	0.034
Tubería 6	0.57	18.85	0.25	0.88	87.78	0.042
Tubería 7	0.36	18.85	0.16	0.59	49.80	0.053
Tubería 8	4.94	18.85	0.16	0.59	30.65	0.033
Tubería 9	0.15	18.85	0.16	0.59	105.71	0.113
Tubería 10	0.1	18.85	0.16	0.59	144.41	0.155
Tubería 11	0.34	18.85	0.16	0.59	68.14	0.073
Tubería 12	1.34	18.85	0.08	0.29	10.07	0.043
Tubería 13	0.46	18.85	0.04	0.15	4.39	0.075
Tubería 17	2	18.85	0.49	1.76	272.20	0.032
Bomba 14	No Disponible	No Disponible	0.49	0.00	-15.45	0.000

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

## 7. Discusión

El propósito fundamental del proyecto de tesis fue diseñar y simular la REDAP del barrio Togueros de la parroquia San Pedro de la Bendita, debido a la incertidumbre que genera la actual REDAP del sector.

Mediante el uso de normativas ecuatorianas (INEN, NEC-11) se pudo caracterizar la demanda de suministro hídrico, donde con la normativa CPE INEN 5 considerando sus tablas y ecuaciones se extrajo la demanda de diseño para la REDAP. Mientras que la normativa NEC-11 se la aplicó a la RIDAP de una vivienda tipo para los ramales H, I2; ya que existen problemas de velocidad del fluido y se propuso un sistema de bombeo que las solventa, tomando en cuenta las pérdidas primarias y secundarias de las tuberías, como una velocidad óptima de 1.2 m/s para una selección adecuada de una bomba periférica.

Con relación al levantamiento topográfico se utilizó nuevas e interesantes metodologías tecnológicas como el uso de imágenes satelitales (Google Earth) para extrapolar las cotas de elevación y tener cierta certidumbre respecto a la realidad, usando como base un estudio realizado en la Universidad Nacional del Altiplano Perú titulado: “PRECISIÓN DE IMAGEN SATELITAL, APLICADO EN PROYECTOS DE SANEAMIENTO, EN LOS SECTORES TULANI Y ALTURA DE DISTRITO ANTAUTA, PROVINCIA MELGAR, REGIÓN PUNO”, que expone como conclusión que el grado de precisión de la imagen satelital es de 95 % de confiabilidad respecto a una estación Total, y al ser muy bajo su costo, se recomienda su uso en proyectos académicos de saneamiento (Yanapa Choque, 2018).

Para validar la simulación, se revisó otros proyectos ejecutados en el mismo sector. De manera especial se analizó un proyecto de factibilidad de dotación de agua potable en la ciudadela Oasis de Togueros, dirigido por ingenieros civiles. Los resultados contemplan la metodología dispuesta por la normativa CPE INEN 5, misma que se considera en la presente tesis. Donde en la figura 66 se aprecia los resultados alcanzados por el proyecto ejecutado en la ciudadela Oasis de Togueros, siendo sus diámetros de 40 mm (1 ¼ in) para todos sus ramales, mientras que los diámetros alcanzados en ese sector en este proyecto son los mostrados en la figura 67.

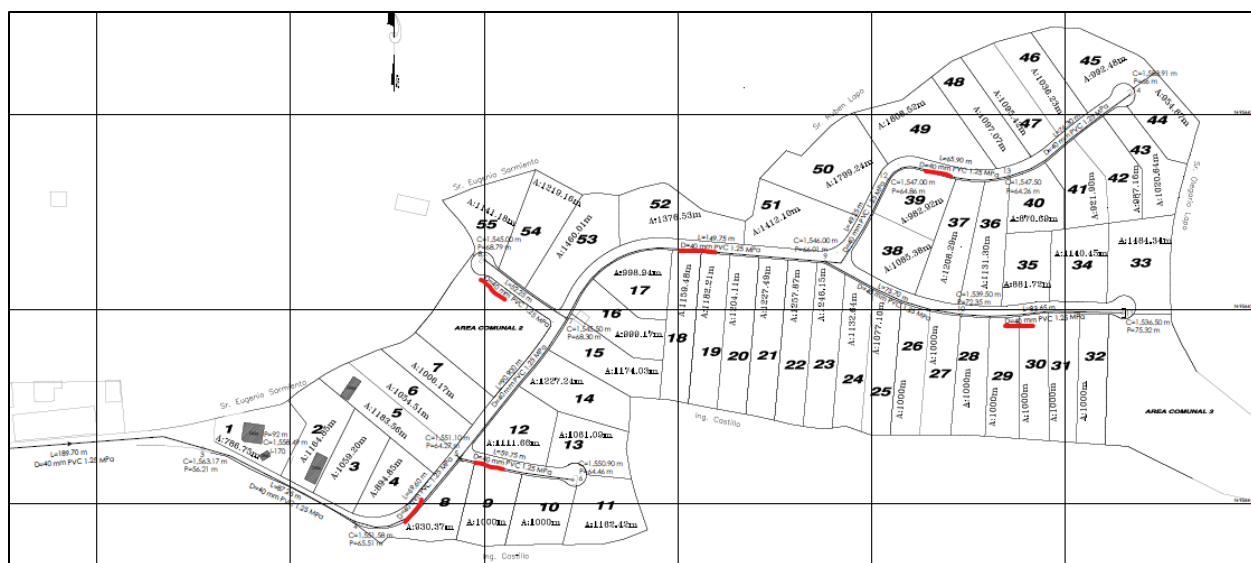


Figura 66. Proyecto de factibilidad de dotación de agua potable en la ciudadela: Oasis de Togueros

*Nota. Fuente: (Dávila, n.d.)*

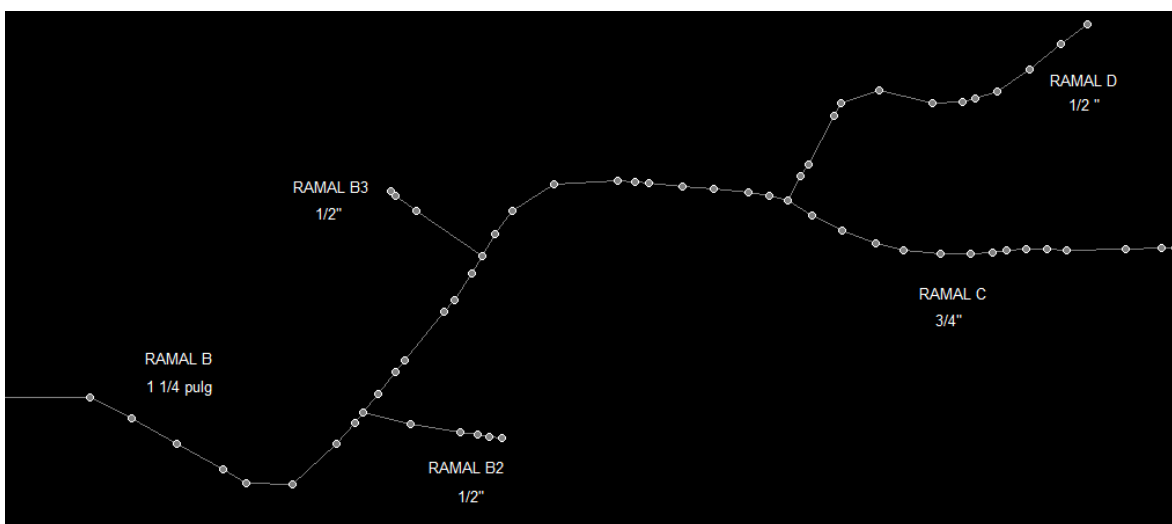


Figura 67. Resultados alcanzados en la ciudadela Oasis de Togueros.

*Nota. Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.*

Comparándolos, se evidencia que el ramal B es el mismo diámetro en ambos proyectos, a excepción de los ramales de B2, B3 y D; debido a que en dichos ramales la demanda es baja, por tal motivo colocar una tubería muy grande como 1 ¼ in es demasiado y repercute en la velocidad del fluido en estos ramales, decidiendo en este proyecto colocar un diámetro de ½ in y ¾ in en C.

Además, para alcanzar optimización de la energía de la bomba en la RIDAP se ha contemplado colocar un equipo hidroneumático que permita reducir los ciclos de trabajos de la

bomba, garantizando un mayor ciclo de vida. Como también situar diámetros de tuberías acordes a velocidades recomendadas, es decir a mayor diámetro menor velocidad, y al tener una menor velocidad las pérdidas primarias y secundarias en las tuberías van a ser menores, consecuentemente la carga agregada y la potencia de la bomba se reducirán.

Para demostrar aquello en la tabla 25 se muestran los distintos resultados obtenidos en la RIDAP, al realizar los cálculos con diferentes diámetros, uno de  $\frac{3}{4}$  in siendo su velocidad de 1.75 m/s (cálculos se encuentran en la sección 5.3.1.2), mientras que otro diámetro de  $\frac{1}{2}$  in con velocidad de 3.24 m/s (los cálculos se encuentran en el anexo 17).

Tabla 25. Resultados obtenidos con diámetros de tuberías distintas

Diámetro de Tubería (in)	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$
Velocidad del fluido (m/s)	1.75	3.24
Pérdidas primarias (m)	3.12	13.76
Pérdidas secundarias (m)	1.27	6.96
Pérdidas totales(m)	4.39	20.72
Carga agregada (m)	10.74	27.45
Potencia hidráulica (kW)	0.052	0.13

*Nota. Fuente: Elaboración propia*

Observándose que a menor velocidad existen menores pérdidas, por lo tanto, menor carga agregada y potencia hidráulica. Por lo cual se escogió el diámetro de  $\frac{3}{4}$  in para su simulación.

## 8. Conclusiones

- Se diseñó un sistema de agua potable REDAP para satisfacer las necesidades del sector Togueros de la parroquia San Pedro de la Bendita, perteneciente al cantón Catamayo provincia de Loja, de tipo convencional y operando a gravedad, a través de la metodología dispuesta por la normativa INEN 5, siendo su dotación diaria a cada vivienda de 0.025 l/s en su REDAP. Mientras, para el análisis de la RIDAP de viviendas con problemas de velocidad de flujo de agua, su demanda es de 0.49 l/s regido por la normativa NEC-11.
- El levantamiento topográfico se realizó mediante el software Google Earth Pro, mismo que ha sido utilizado en otros proyectos de tesis. Se determinó los puntos de demandas y cotas de elevación valiéndose de imágenes satelitales actualizadas, existiendo una diferencia de alturas entre la planta de tratamiento y el ultimo nudo de la REDAP de 265 m.
- Se diseñó la REDAP con ayuda del software AutoCAD, transportando dicha información a Epanet (con el uso de EpaCAD) incluyendo parámetros hidráulicos necesarios en su simulación, logrando obtener los diámetros de tuberías del modelo 1 propuesto anteriormente, debido a que aprovecha de mejor manera la carga de elevación transformándola en energía de presión y velocidad, optimizando su uso. Además, considerando las presiones y velocidades del fluido sugeridas en la normativa (CPE INEN 5), se observó que en algunas viviendas de los ramales H e I2 existen velocidades bajas, donde se ha decidido realizar un estudio en la RIDAP de una vivienda tipo (usando la Normativa NEC-11), concluyendo que es necesario la colocación de un sistema de bombeo, seleccionando una bomba Pedrollo modelo PKSm 60 con una potencia en el eje de ½ HP.

## 9. Recomendaciones

- Calcular la dotación diaria de agua potable con un valor de 100 l/hab/día, ya que la OMS recomienda dicho valor para mantener cubierta las necesidades básicas humanas.
- Emplear planos topográficos de estación Total para tener una certidumbre del 100 %, de lo contrario usar imágenes satelitales del software Google Earth Pro para conocer las cotas de elevación de la zona.
- Se recomienda ubicar bombas Pedrollo modelo PKSm 60 de ½ HP en las redes internas de agua potable (RIDAP), en las viviendas de los ramales H, I2 y en los extremos alejados de la REDAP acompañado de una cisterna de aproximadamente 600 l y un equipo inyector de presión de 138.36 l para optimizar el suministro de agua potable.
- Emplear coordenadas UTM para ubicar de mejor manera los nudos de demanda, así conocer las longitudes de tuberías y cotas de elevación.



## 10. Bibliografía

- Arista Sur. (2014). *Sistema de Coordenadas Geográficas: UTM*.  
<https://www.aristasur.com/contenido/sistema-de-coordenadas-geograficas-utm>
- Catamayo.gob.ec. (n.d.). *San Pedro de la Bendita*. <https://catamayo.gob.ec/san-pedro-de-la-bendita/>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2019). *Gobierno de México*.  
<https://www.gob.mx/conanp/articulos/sabes-cuanta-agua-consumes#:~:text=De acuerdo a la Organización,de consumo como de higiene.>
- Córdova R, Á. J. (2016). *Proyecto de vivienda para el Sr. Angel Rojas y esposa*.
- Dávila, J. H. (n.d.). *Factibilidad para abastecimiento de agua potable para la Pre-Asociación Oasis de Togueros*.
- Depuradoras, F. (2013). *Equivalencias entre las principales maneras de medir canalizaciones, NPS, DN y PVC*. [https://www.depuradoras.es/blog/169\\_equivalencias-entre-las-principales-maneras-de-medir-canalizaciones-nps-dn](https://www.depuradoras.es/blog/169_equivalencias-entre-las-principales-maneras-de-medir-canalizaciones-nps-dn)
- Equipo técnico de San Pedro de la Bendita. (2019). *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial*. [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal\\_/1160023370001\\_PD\\_y\\_OT\\_2014\\_-\\_2019\\_31-10-2015\\_14-01-33.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal_/1160023370001_PD_y_OT_2014_-_2019_31-10-2015_14-01-33.pdf)
- Franco, A. R. (1999). *Características de las coordenadas UTM y descripción de este tipo de coordenadas*. [http://www.elgps.com/documentos/utm/coordenadas\\_utm.html](http://www.elgps.com/documentos/utm/coordenadas_utm.html)
- García, M. (2006). *Modelación y Simulación de redes Hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas*. [https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis\\_pfc/PFC\\_MM\\_arGracia\\_2006.pdf](https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis_pfc/PFC_MM_arGracia_2006.pdf)
- Giles, R; Evett, J; Liu, C. (1994). *Mécanica de los Fluidos e Hidráulica* (M. J. Norte (Ed.); 3ra ed.). McGraw-Hill. [file:///C:/Users/camil/Downloads/Mecanica\\_de\\_los\\_Fluidos\\_e\\_Hidraulica\\_Ter.pdf](file:///C:/Users/camil/Downloads/Mecanica_de_los_Fluidos_e_Hidraulica_Ter.pdf)
- Google. (2009). *Google Earth Pro La herramienta fundamental de investigación , presentación y colaboración para información específica sobre un lugar. 2.*

- Honeywell. (n.d.). *Válvula reductora de presión con asiento equilibrado, escala manométrica ajustable*. 1–4. [www.honeywell.com](http://www.honeywell.com)
- INEN. (1997). *Código de practica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural. 1*.
- Jiménez, J. M. (n.d.). *MANUAL PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO*. Retrieved November 29, 2020, from <https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>
- Mataix, C. (2006). Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. In *Alfaomega* (2nd ed., Vol. 2).
- Mott, R., & Untener, J. (2015). *Mecánica de Fluidos* (Septima Ed).
- NEC. (2011). *Norma Hidrosanitaria NHE*.
- Pedrollo. (2012). *Electrobombas centrífugas*. 34–37. [https://www.pedrollo.com/public/allegati/CP0.25-2.2 kW\\_ES\\_50Hz.pdf](https://www.pedrollo.com/public/allegati/CP0.25-2.2 kW_ES_50Hz.pdf)
- Plastigama. (2019). *Presión PVC Roscable*. 2. [www.plastigamawavin.com](http://www.plastigamawavin.com)
- Saldarriaga, J. (2016). *Hidráulica de Tuberías: Abastecimiento de agua, redes, riegos* (L. Buitrago (Ed.); 3ra ed.). Alfaomega.
- Saldarriaga, J. G. (1998). *Hidráulica de Tuberías*. McGRAW-HILL.
- Shishigin, D. S., Shishigin, S. L., & Korovkin, N. V. (2015). AutoCAD application for LPS, grounding and EMC problems. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2015-Septm*, 834–838. <https://doi.org/10.1109/ISEMC.2015.7256272>
- Solórzano, J. S. D. P. (n.d.). *Ejercicios básicos de mecánica de fluidos e hidráulica aplicados a través del software de distribución gratuita EPANET 2.0*. (Primera ed). UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA. <http://www.unipiloto.edu.co/descargas/LibroEpanet.pdf>
- Valéncia, U. P. de. (n.d.). *EpaCAD*. <https://www.epacad.com/epacad-es.php>
- Weather Atlas*. (n.d.). <https://www.weather-atlas.com/es/ecuador/san-pedro-de-la-bendita-clima>
- Yanapa Choque, N. (2018). *Precisión de Imagen Satelital, Aplicado en Proyectos de Saneamiento, en los Sectores Tulani y Altura de Distrito Antauta, Provincia Melgar, Región Puno*. 1–133. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10134>

## 11. Anexos

### Anexo 1. Panta de Tratamiento de San Pedro de la Bendita



**Anexo 2. Vivienda de la ciudadela Oasis Togueros**



**Anexo 3. Vivienda del sector Togueros**



**Anexo 4. Vivienda del sector Togueros**



## Anexo 5. Vivienda del Sector Togueros



## Anexo 6. Granja de criadero de pollos



## Anexo 7. Visita a vivienda donde se midió el caudal



**Anexo 8. Visita a vivienda tipo del sector Togueros**



**Anexo 9. Tanque usado para medir el caudal de la vivienda tipo**





**Anexo 10. Tabla de propiedades del agua a distintas temperaturas en unidades del SI**

Temperatura (°C)	Peso específico $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica $\eta$ (Pa*s)	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)
0	9.81	1000	1.75*10 <sup>-3</sup>	1.75*10 <sup>-6</sup>
5	9.81	1000	1.52*10 <sup>-3</sup>	1.52*10 <sup>-6</sup>
10	9.81	1000	1.30*10 <sup>-3</sup>	1.30*10 <sup>-6</sup>
15	9.81	1000	1.15*10 <sup>-3</sup>	1.15*10 <sup>-6</sup>
20	9.79	998	1.02*10 <sup>-3</sup>	1.02*10 <sup>-6</sup>
25	9.78	997	8.91*10 <sup>-4</sup>	8.94*10 <sup>-7</sup>
30	9.77	996	8.00*10 <sup>-4</sup>	8.03*10 <sup>-7</sup>
35	9.75	994	7.18*10 <sup>-4</sup>	7.22*10 <sup>-7</sup>
40	9.73	992	6.51*10 <sup>-4</sup>	6.56*10 <sup>-7</sup>
45	9.71	990	5.94*10 <sup>-4</sup>	6.00*10 <sup>-7</sup>
50	9.69	988	5.41*10 <sup>-4</sup>	5.48*10 <sup>-7</sup>
55	9.67	986	4.98*10 <sup>-4</sup>	5.05*10 <sup>-7</sup>
60	9.65	984	4.60*10 <sup>-4</sup>	4.67*10 <sup>-7</sup>
65	9.62	981	4.31*10 <sup>-4</sup>	4.39*10 <sup>-7</sup>
70	9.59	978	4.02*10 <sup>-4</sup>	4.11*10 <sup>-7</sup>
75	9.56	975	3.73*10 <sup>-4</sup>	3.83*10 <sup>-7</sup>
80	9.53	971	3.50*10 <sup>-4</sup>	3.60*10 <sup>-7</sup>
85	9.50	968	3.30*10 <sup>-4</sup>	3.41*10 <sup>-7</sup>
90	9.47	965	3.11*10 <sup>-4</sup>	3.22*10 <sup>-7</sup>
95	9.44	962	2.92*10 <sup>-4</sup>	3.04*10 <sup>-7</sup>
100	9.40	958	2.82*10 <sup>-4</sup>	2.94*10 <sup>-7</sup>

Fuente: (Mott & Untener, 2015)

**Anexo 11. Tabla de equivalencia entre diámetros PVC y NPS**

NPS	DN	PVC
3/8	10	16
1/2	15	20
3/4	20	25
1	25	32
1 1/4	32	40
1 1/2	40	50
2	50	63
2 1/2	65	75
3	80	90
3 1/2	90	
4	100	110
4 1/2	115	
5	125	140

**Fuente:** (Depuradoras, 2013)

## Anexo 12. Resultados de nudos de la REDAP

Tabla de Red - Nudos			
Nudos	Cota	Demanda Base	Presión
ID Nudo	m	LPS	m
Conexión Y1	1580	0	48.26
Conexión SC20	1580	0	45.20
Conexión SC22	1580	0	44.02
Conexión SC23	1578	0	44.97
Conexión SC24	1576	0	45.95
Conexión U5	1574	0	46.95
Conexión SC18	1566	0	46.15
Conexión SC49	1565	0	43.75
Conexión 1H	1565	0.025	41.17
Conexión 2H	1562	0.025	44.02
Conexión T7	1557	0	29.39
Conexión T8	1548	0	37.68
Conexión SC14	1542	0	15.00
Conexión SC15	1540	0	16.83
Conexión U3	1532	0	24.37
Conexión 7H	1531	0.025	24.51
Conexión SC16	1517	0	38.26
Conexión 8H	1498	0.025	26.79
Conexión T6	1565	0	41.49
Conexión 3H	1564	0.025	33.05
Conexión SC8	1563	0	32.51
Conexión U2	1558	0	34.31
Conexión SC9	1557	0	34.19
Conexión T1	1584	0	50.41
Conexión 1B	1583	0.025	30.00
Conexión SC1	1565	0	32.97
Conexión 2B	1563	0.025	33.11
Conexión 3B	1560	0.025	34.20
Conexión 4B	1558	0.025	34.27
Conexión SC2	1558	0	33.35
Conexión 5B	1557	0.025	32.68
Conexión 6B	1555	0.025	32.68
Conexión 7B	1554	0.025	32.78
Conexión T2	1554	0	32.34
Conexión 8B	1552	0.025	33.59

Tabla de Red - Nodos			
Nodos	Cota	Demanda Base	Presión
ID Nudo	m	LPS	m
Conexión 9B	1554	0.025	30.87
Conexión 10B	1553	0.025	31.52
Conexión 11B	1553	0.025	30.11
Conexión 12B	1553	0.025	29.76
Conexión 13B	1553	0.025	29.10
Conexión T3	1553	0	28.70
Conexión 14B	1553	0.025	28.13
Conexión 15B	1554	0.025	26.65
Conexión 16B	1556	0.025	23.90
Conexión 17B	1556	0.025	22.95
Conexión 18B	1555	0.025	23.72
Conexión 19B	1555	0.025	23.52
Conexión 20B	1553	0.025	25.11
Conexión 21B	1552	0.025	25.74
Conexión 22B	1551	0.025	21.82
Conexión T4	1549	0	18.71
Conexión 1D	1550	0.025	16.89
Conexión 2D	1550	0.025	16.55
Conexión 3D	1551	0.025	14.50
Conexión 4D	1551	0.025	14.27
Conexión SC3	1551	0	13.80
Conexión 5D	1548	0.025	16.17
Conexión 6D	1547	0.025	16.92
Conexión U20	1545	0	18.84
Conexión 7D	1542	0.025	21.71
Conexión 8D	1542	0.025	21.57
Conexión 9D	1540	0.025	23.51
Conexión 10D	1538	0.025	25.50
Conexión 1E	1584	0.025	49.45
Conexión 2E	1584	0.025	48.80
Conexión 3E	1583	0.025	49.16
Conexión 4E	1583	0.025	48.84
Conexión 5E	1583	0.025	48.69
Conexión 6E	1583	0.025	48.50
Conexión 7E	1582	0.025	49.34
Conexión 8E	1583	0.025	48.21
Conexión 9E	1583	0.025	48.06

Tabla de Red - Nodos			
Nodos	Cota	Demanda Base	Presión
ID Nudo	m	LPS	m
Conexión 10E	1583	0.025	47.90
Conexión 11E	1582	0.025	48.69
Conexión 12E	1581	0.025	49.43
Conexión 13E	1582	0.025	48.25
Conexión 14E	1582	0.025	48.17
Conexión 15E	1581	0.025	49.04
Conexión 16E	1581	0.025	48.90
Conexión 17E	1581	0.025	48.77
Conexión 18E	1581	0.025	48.61
Conexión 19E	1580	0.025	48.98
Conexión 20E	1580	0.025	48.64
Conexión SC25	1583	0	37.31
Conexión 1F	1582	0.025	34.35
Conexión 2F	1582	0.025	32.32
Conexión 3F	1581	0.025	29.70
Conexión 4F	1581	0.025	28.71
Conexión 5F	1580	0.025	28.30
Conexión 6F	1577	0.025	30.68
Conexión SC50	1577	0	30.59
Conexión 7F	1580	0.025	27.52
Conexión S5	1581	0	26.52
Conexión 1B3	1556	0.025	25.09
Conexión 2B3	1556	0.025	25.05
Conexión S1	1558	0	23.05
Conexión 1B2B	1553	0.025	32.11
Conexión 2B2	1552	0.025	32.38
Conexión 3B2	1552	0.025	32.25
Conexión 4B2	1552	0.025	32.23
Conexión C5	1549	0	36.36
Conexión SC10	1547	0	37.72
Conexión SC11	1545	0	39.27
Conexión 4H	1565	0.025	18.25
Conexión SC12	1541	0	15.00
Conexión 5H	1538	0.025	17.79
Conexión SC13	1536	0	19.72
Conexión 6H	1527	0.025	28.61
Conexión S2	1534	0	21.61

Tabla de Red - Nodos			
Nodos	Cota	Demanda Base	Presión
ID Nudo	m	LPS	m
Conexión 1C	1546	0.025	20.29
Conexión 2C	1545	0.025	19.99
Conexión 3C	1544	0.025	19.78
Conexión 4C	1543	0.025	19.97
Conexión 5C	1541	0.025	21.11
Conexión 6C	1540	0.025	21.53
Conexión 7C	1539	0.025	22.21
Conexión 8C	1538	0.025	23.05
Conexión 9C	1537	0.025	23.88
Conexión 10C	1535	0.025	25.76
Conexión 11C	1534	0.025	26.69
Conexión 12C	1532	0.025	28.60
Conexión 13C	1531	0.025	29.59
Conexión 6I2	1527	0.025	20.00
Conexión 5I2	1540	0.025	19.62
Conexión SC5	1547	0	46.83
Conexión 3I2	1552	0.025	42.25
Conexión 2I2	1555	0.025	39.86
Conexión 1I2	1557	0.025	38.82
Conexión 4I	1560	0.025	38.42
Conexión SC6	1564	0	38.64
Conexión 3I	1562	0.025	42.14
Conexión 2I	1563	0.025	41.89
Conexión 1I	1565	0.025	40.71
Conexión 81	1566	0.025	40.71
Conexión 80	1565	0.025	42.39
Conexión SC7	1565	0	43.57
Conexión T5	1565	0	45.35
Conexión AC	1655	0	18.12
Conexión U15	1650	0	21.29
Conexión SC48	1647	0	21.59
Conexión SC47	1645	0	23.31
Conexión SC46	1644	0	24.13
Conexión SC45	1644	0	23.83
Conexión U14	1638	0	27.36
Conexión SC44	1636	0	27.89
Conexión SC43	1637	0	25.41

Tabla de Red - Nodos			
Nodos	Cota	Demanda Base	Presión
ID Nudo	m	LPS	m
Conexión SC42	1635	0	26.50
Conexión U13	1633	0	28.31
Conexión C10	1632	0	29.04
Conexión U12	1631	0	29.43
Conexión U11	1630	0	30.09
Conexión SC41	1624	0	34.12
Conexión SC40	1622	0	35.48
Conexión SC39	1618	0	38.98
Conexión SC38	1613	0	41.00
Conexión SC37	1612	0	41.67
Conexión SC36	1612	0	41.12
Conexión SC35	1611	0	41.89
Conexión U10	1610	0	42.56
Conexión SC34	1608	0	43.96
Conexión U9	1608	0	43.11
Conexión SC33	1604	0	45.57
Conexión SC32	1603	0	46.02
Conexión U8	1604	0	43.05
Conexión SC31	1603	0	43.23
Conexión SC30	1603	0	42.46
Conexión SC29	1602	0	42.61
Conexión SC28	1601	0	42.83
Conexión U7	1591	0	47.93
Conexión SC26	1586	0	50.13
Conexión U6	1585	0	50.29
Conexión 23B	1550	0.025	19.96
Conexión S6	1528	0	32.59
Conexión S4	1552	0	32.23
Conexión S30	1496	0	28.79
Conexión SC19	1565	0	46.48
Conexión U4	1522	0	33.33
Conexión SC17	1510	0	15.00
Conexión C2	1565	0	36.34
Conexión C3	1554	0	34.82
Conexión 6A	1693	0	33.91
Conexión 4A	1722	0	23.75
Conexión 3A	1723	0	25.46

Tabla de Red - Nodos			
Nodos	Cota	Demanda Base	Presión
ID Nudo	m	LPS	m
Conexión 2A	1753	0	5.50
Conexión 1A	1754	0	6.23
Conexión 5A	1693	0	34.79
Conexión U99	1614	0	41.56
Conexión U103	1583	0	50.25
Conexión U96	1510	0	45.18
Conexión U104	1542	0	42.84
Conexión U105	1541	0	42.02
Conexión U106	1527	0	32.49
Conexión 4I2	1545	0	15.00
Embalse E1	1761	No Disponible	0.00

**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de Epanet.



**Anexo 13. Tabla de resultados de la simulación de las tuberías de la REDAP**

Tabla de Red - Líneas						
Tuberías	Longitud	Diámetro	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.	Factor de Fricción
ID Línea	m	mm	LPS	m/s	m/km	
Tubería p1	51.40	24.3	0.47	1.02	59.63	0.027
Tubería p2	20.28	24.3	0.47	1.02	57.88	0.026
Tubería p3	18.1	24.3	0.47	1.02	58.31	0.027
Tubería p4	17.82	24.3	0.47	1.02	57.45	0.026
Tubería p5	17.33	24.3	0.47	1.02	57.55	0.026
Tubería p6	154	24.3	0.47	1.02	57.14	0.026
<b>Tubería p11</b>	51.81	13.88	0.03	<b>0.17</b>	3.01	0.030
Tubería p15	9.11	13.88	0.12	0.83	77.93	0.031
Tubería p16	52.04	13.88	0.05	0.33	16.16	0.040
Tubería p17	10.27	13.88	0.05	0.33	16.25	0.040
Tubería p18	28.83	13.88	0.05	0.33	16.17	0.040
Tubería p19	52.8	13.88	0.05	0.33	16.14	0.040
Tubería p29	19.93	13.88	0.12	0.83	77.21	0.031
Tubería p30	41.34	13.88	0.12	0.83	77.50	0.031
Tubería p31	14.42	13.88	0.12	0.83	77.81	0.031
Tubería p36	178.27	32.46	1.27	1.54	84.31	0.023
Tubería p38	23.80	32.46	1.25	1.51	80.09	0.022
Tubería p39	24.67	32.46	1.23	1.48	78.45	0.023
Tubería p40	12.14	32.46	1.20	1.45	75.68	0.023
Tubería p41	21.64	32.46	1.20	1.45	76.87	0.023
Tubería p42	27.74	32.46	1.17	1.42	72.25	0.023
Tubería p43	12.81	32.46	1.15	1.39	69.86	0.023
Tubería p44	6.245	32.46	1.13	1.36	71.80	0.025
Tubería p45	10.86	32.46	1.02	1.24	68.30	0.028
Tubería p46	13.4	32.46	1.00	1.21	54.26	0.024
Tubería p47	6.64	32.46	0.98	1.18	51.87	0.024
Tubería p48	28.75	32.46	0.95	1.15	49.29	0.024
Tubería p49	7.389	32.46	0.93	1.12	46.93	0.024
Tubería p50	14.73	32.46	0.90	1.09	44.70	0.024
Tubería p51	9.115	32.46	0.88	1.06	43.94	0.025
Tubería p52	12.25	32.46	0.83	1.00	46.14	0.030
Tubería p53	13.16	32.46	0.80	0.97	36.47	0.025
Tubería p54	23.15	32.46	0.78	0.94	32.43	0.024
Tubería p55	29.43	32.46	0.75	0.91	32.31	0.025
Tubería p56	7.706	32.46	0.73	0.88	30.36	0.025

Tabla de Red - Líneas						
Tuberías	Longitud	Diámetro	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.	Factor de Fricción
ID Línea	m	mm	LPS	m/s	m/km	
Tubería p57	6.962	32.46	0.70	0.85	28.67	0.026
Tubería p58	15.1	32.46	0.67	0.82	26.77	0.026
Tubería p59	14.95	32.46	0.65	0.79	25.05	0.026
Tubería p60	15.99	18.85	0.63	2.24	307.45	0.023
Tubería p62	12.63	18.85	0.25	0.90	65.07	0.030
Tubería p63	6.537	18.85	0.23	0.81	50.75	0.029
Tubería p64	25.63	18.85	0.20	0.72	41.32	0.030
Tubería p65	6.771	18.85	0.17	0.63	32.66	0.031
Tubería p66	18.83	18.85	0.15	0.54	25.05	0.032
Tubería p67	25.09	18.85	0.15	0.54	25.29	0.032
Tubería p68	13.64	18.85	0.12	0.45	18.23	0.034
Tubería p69	6.328	18.85	0.10	0.36	12.44	0.036
Tubería p70	10.52	18.85	0.10	0.36	12.51	0.036
Tubería p71	17.92	18.85	0.08	0.27	7.55	0.039
Tubería p72	18.98	18.85	0.05	0.18	3.25	0.038
Tubería p73	15.23	18.85	0.03	0.09	0.86	0.040
Tubería p74	26.53	38.1	1.15	1.01	36.19	0.027
Tubería p75	20.67	38.1	1.12	0.99	31.34	0.024
Tubería p76	21.37	38.1	1.10	0.96	30.04	0.024
Tubería p77	11.22	38.1	1.07	0.94	28.12	0.024
Tubería p78	5.321	38.1	1.05	0.92	29.17	0.026
Tubería p79	6.917	38.1	1.02	0.90	26.53	0.025
Tubería p80	6.355	38.1	1.00	0.88	25.53	0.025
Tubería p81	5.876	38.1	0.97	0.86	22.64	0.023
Tubería p82	6.342	38.1	0.95	0.83	23.30	0.025
Tubería p83	7.131	38.1	0.92	0.81	22.06	0.025
Tubería p84	10.45	38.1	0.90	0.79	20.58	0.025
Tubería p85	13.23	38.1	0.87	0.77	19.38	0.025
Tubería p86	9.754	38.1	0.85	0.75	18.66	0.025
Tubería p87	4.808	38.1	0.82	0.72	16.87	0.024
Tubería p88	7.295	38.1	0.80	0.70	16.99	0.026
Tubería p89	8.779	38.1	0.77	0.68	15.92	0.026
Tubería p90	8.92	38.1	0.75	0.66	15.00	0.026
Tubería p91	11.26	38.1	0.72	0.64	13.98	0.026
Tubería p92	46.88	38.1	0.70	0.61	13.50	0.027
Tubería p93	27.04	38.1	0.67	0.59	12.77	0.027
Tubería p94	30.83	38.1	0.65	0.57	12.06	0.028

Tabla de Red - Líneas						
Tuberías	Longitud	Diámetro	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.	Factor de Fricción
ID Línea	m	mm	LPS	m/s	m/km	
Tubería p95	56.78	13.88	0.17	1.16	140.16	0.029
Tubería p96	28.25	13.88	0.17	1.16	139.85	0.028
Tubería p97	19.18	13.88	0.15	0.99	106.25	0.029
Tubería p98	46.82	13.88	0.12	0.83	77.25	0.031
Tubería p99	18.79	13.88	0.10	0.66	52.51	0.033
Tubería p100	44.15	13.88	0.08	0.50	31.98	0.035
Tubería p101	39.00	13.88	0.05	0.33	15.99	0.040
Tubería p102	28.43	13.88	0.03	0.17	3.01	0.030
Tubería p103	22.73	13.88	0.03	0.17	3.03	0.030
Tubería p104	7.43	13.88	0.00	0.00	0.00	0.000
Tubería p105	37.63	13.88	0.05	0.33	16.26	0.041
Tubería p106	11.66	13.88	0.03	0.17	2.99	0.030
Tubería p107	2.92	13.88	0.00	0.00	0.05	0.000
Tubería p108	22.69	13.88	0.10	0.66	54.05	0.034
Tubería p109	22.97	13.88	0.08	0.50	31.83	0.035
Tubería p110	8.168	13.88	0.05	0.33	15.91	0.040
Tubería p111	5.84	13.88	0.03	0.17	2.96	0.030
Tubería p112	9.36	13.88	0.07	0.50	34.19	0.038
Tubería p113	19.86	13.88	0.07	0.50	32.50	0.036
Tubería p114	13.94	13.88	0.07	0.50	32.27	0.036
Tubería p115	31.48	13.88	0.07	0.50	32.13	0.036
Tubería p116	14.34	13.88	0.05	0.33	15.95	0.040
Tubería p117	12.76	13.88	0.05	0.33	16.38	0.040
Tubería p118	23.38	13.88	0.03	0.17	3.08	0.030
Tubería p119	35.79	13.88	0.03	0.17	3.10	0.030
Tubería p120	11.98	13.88	0.00	0.00	0.00	0.000
Tubería p121	13.37	18.85	0.33	1.16	106.08	0.029
Tubería p122	15.51	18.85	0.30	1.07	83.68	0.027
Tubería p123	16.87	18.85	0.28	0.99	71.64	0.027
Tubería p124	13.4	18.85	0.25	0.90	60.99	0.028
Tubería p125	17.05	18.85	0.23	0.81	50.37	0.029
Tubería p126	14.05	18.85	0.20	0.72	41.21	0.030
Tubería p127	9.982	18.85	0.17	0.63	32.38	0.030
Tubería p128	6.331	18.85	0.15	0.54	25.04	0.032
Tubería p129	9.361	18.85	0.12	0.45	18.11	0.033
Tubería p130	9.7	18.85	0.10	0.36	12.32	0.036
Tubería p131	9.199	18.85	0.08	0.27	7.54	0.039

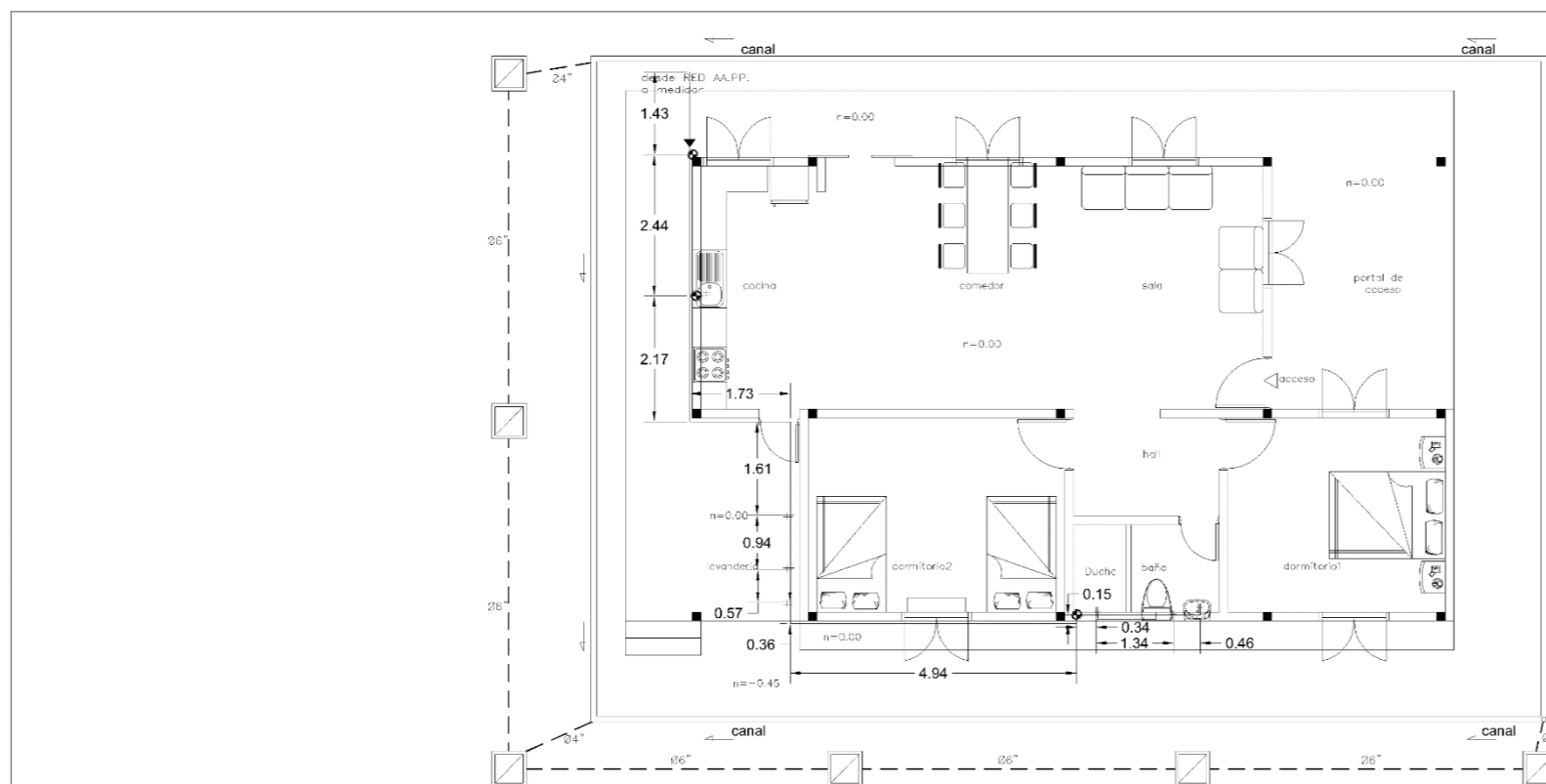
Tabla de Red - Líneas						
Tuberías	Longitud	Diámetro	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.	Factor de Fricción
ID Línea	m	mm	LPS	m/s	m/km	
Tubería p132	27.32	18.85	0.05	0.18	3.26	0.038
Tubería p133	16.41	18.85	0.03	0.09	0.85	0.039
Tubería p138	26.09	13.88	-0.05	0.33	15.99	0.040
Tubería p139	18.98	13.88	-0.08	0.50	31.98	0.035
Tubería p140	18.26	13.88	-0.10	0.66	52.55	0.033
Tubería p141	33.76	13.88	-0.12	0.83	77.23	0.031
Tubería p142	168.02	18.85	-0.15	0.54	25.12	0.032
Tubería p143	59.6	18.85	-0.15	0.54	25.02	0.032
Tubería p144	22.79	18.85	-0.17	0.63	32.95	0.031
Tubería p145	19.87	18.85	-0.20	0.72	41.28	0.030
Tubería p146	19.72	18.85	-0.23	0.81	50.74	0.029
Tubería p147	11.34	18.85	-0.25	0.90	60.24	0.028
Tubería p148	16.22	18.85	-0.28	0.99	72.98	0.028
Tubería p151	47.80	49.24	2.45	1.29	38.37	0.022
Tubería p152	69.94	49.24	2.45	1.29	38.48	0.022
Tubería p153	6.536	49.24	2.45	1.29	43.31	0.025
Tubería p154	4.358	49.24	2.45	1.29	42.07	0.025
Tubería p155	6.89	49.24	2.45	1.29	42.81	0.025
Tubería p156	64.15	49.24	2.45	1.29	38.62	0.023
Tubería p157	37.73	49.24	2.45	1.29	38.83	0.023
Tubería p158	37.9	49.24	2.45	1.29	39.06	0.023
Tubería p159	23.51	49.24	2.45	1.29	38.84	0.023
Tubería p160	4.495	49.24	2.45	1.29	41.85	0.024
Tubería p161	6.316	49.24	2.45	1.29	42.13	0.025
Tubería p162	14.2	49.24	2.45	1.29	43.06	0.025
Tubería p163	8.37	49.24	2.45	1.29	40.17	0.023
Tubería p165	16.25	49.24	2.45	1.29	39.38	0.023
Tubería p167	36.28	49.24	2.45	1.29	39.28	0.023
Tubería p169	13.57	49.24	2.45	1.29	40.44	0.024
Tubería p170	5.903	49.24	2.45	1.29	39.99	0.023
Tubería p171	7.96	49.24	2.45	1.29	40.52	0.024
Tubería p173	21.86	49.24	2.45	1.29	39.21	0.023
Tubería p174	39.76	49.24	2.45	1.29	38.61	0.023
Tubería p175	13.62	49.24	2.45	1.29	40.40	0.024
Tubería p176	51.05	49.24	2.45	1.29	38.61	0.023
Tubería p177	21.05	49.24	2.45	1.29	38.96	0.023
Tubería p178	19.29	49.24	2.45	1.29	39.88	0.023

Tabla de Red - Líneas						
Tuberías	Longitud	Diámetro	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.	Factor de Fricción
ID Línea	m	mm	LPS	m/s	m/km	
Tubería p179	21.72	49.24	2.45	1.29	39.24	0.023
Tubería p180	19.45	49.24	2.45	1.29	39.84	0.023
Tubería p181	127.02	49.24	2.45	1.29	38.61	0.023
Tubería p182	72.22	49.24	2.45	1.29	38.71	0.023
Tubería p183	21.56	49.24	2.45	1.29	39.28	0.023
Tubería 2	8.24	13.88	0.20	1.32	194.38	0.030
Tubería 3	23.50	18.85	0.28	0.99	75.59	0.029
Tubería 1	11.65	24.3	0.47	1.02	57.69	0.026
Tubería 11	19.13	24.3	0.47	1.02	58.92	0.027
Tubería 12	60.32	13.88	0.03	0.17	3.07	0.030
Tubería 13	23.07	13.88	0.03	0.17	3.07	0.030
Tubería 14	26.24	13.88	0.03	0.17	3.10	0.030
Tubería 15	68.84	13.88	0.03	0.17	3.01	0.030
Tubería 18	39.97	13.88	0.15	0.99	107.23	0.030
Tubería 19	30.36	13.88	0.12	0.83	77.82	0.031
Tubería 20	31.07	13.88	0.12	0.83	78.32	0.031
Tubería 21	47.70	13.88	0.15	0.99	107.94	0.030
Tubería 22	10.07	18.85	0.60	2.15	284.01	0.023
Tubería 23	8.28	18.85	0.57	2.06	272.47	0.024
Tubería 24	6.42	18.85	0.00	0.00	0.02	0.000
Tubería 26	9.23	13.88	0.00	0.00	0.03	0.000
Tubería 27	5.51	13.88	0.00	0.00	0.03	0.000
Tubería 29	12.50	13.88	0.20	1.32	181.01	0.028
Tubería 30	18.79	13.88	0.05	0.33	16.53	0.041
Tubería 5	9.67	49.24	2.45	1.29	34.15	0.020
Tubería 7	14.45	49.24	2.45	1.29	34.13	0.020
Tubería 8	17.57	49.24	2.45	1.29	34.15	0.020
Tubería 4	10.51	32.46	1.30	1.57	109.99	0.028
Tubería 10	22.77	49.24	2.45	1.29	38.60	0.023
Tubería 16	51.24	49.24	2.45	1.29	38.58	0.023
Tubería 25	21.74	32.46	1.27	1.54	85.70	0.023
Tubería 6	48.70	50	2.45	1.25	35.63	0.022
Tubería 9	281.89	50	2.45	1.25	35.61	0.022
Tubería 33	76.49	50	2.45	1.25	35.45	0.022
Tubería 36	21.93	50	2.45	1.25	34.98	0.022
Tubería 37	418.48	38.1	2.45	2.15	128.54	0.021
Tubería 38	503.95	50	2.45	1.25	35.64	0.022

Tabla de Red - Líneas						
Tuberías	Longitud	Diámetro	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.	Factor de Fricción
ID Línea	m	mm	LPS	m/s	m/km	
Tubería 39	45.15	13.88	0.03	0.17	3.02	0.030
Tubería 34	27.65	50	2.45	1.25	31.72	0.020
Tubería 43	23.27	13.88	0.05	0.33	16.19	0.040
Válvula 17	No Disponible	49.24	2.45	1.29	1.56	0.000
Válvula 28	No Disponible	32.46	1.30	1.57	20.25	0.000
Válvula 31	No Disponible	13.88	0.03	0.17	30.18	0.000
Válvula 32	No Disponible	13.88	0.05	0.33	27.84	0.000
Válvula 35	No Disponible	13.88	0.05	0.33	27.02	0.000
Válvula 40	No Disponible	13.88	0.03	0.17	12.49	0.000
Válvula 42	No Disponible	13.88	0.05	0.33	33.83	0.000

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Epanet.

#### Anexo 14. Plano de la vivienda tipo



**INSTALACIONES SANITARIAS**  
ESC: 1 / 50

INSTALACIONES SANITARIAS	
SIMBOLOGIA	
⊥	TORNA DE AGUA POTABLE
⊕	LLAVE DE PAREMUNTO/ABRIR
⊞	CASA DE BIVIVENDAS
⊞	PIEDO DE PLATAMIENTO AGUAS REINTEGRAR
⊞	SEÑOR
—	RED DE AGUAS RESIDUALES
—	RED DE AGUA POTABLE
—	RED DE AGUA A PISO SEPTICO

Proyecto:  
**PROYECTO DE VIVIENDA PARA EL SR. ANGEL ROJAS Y ESPOSA**

Ubicación y clave catastral:  
Cantón Catamayo - Parroquia San Pedro  
110353510101643000

Propietario:  
Sr. Angel Humberto Rojas Roman  
Ct: 1704691458

Diseño:  
Arq. A. Javier Córdova R.  
RM GADMIC 0028

Seños de aprobación:

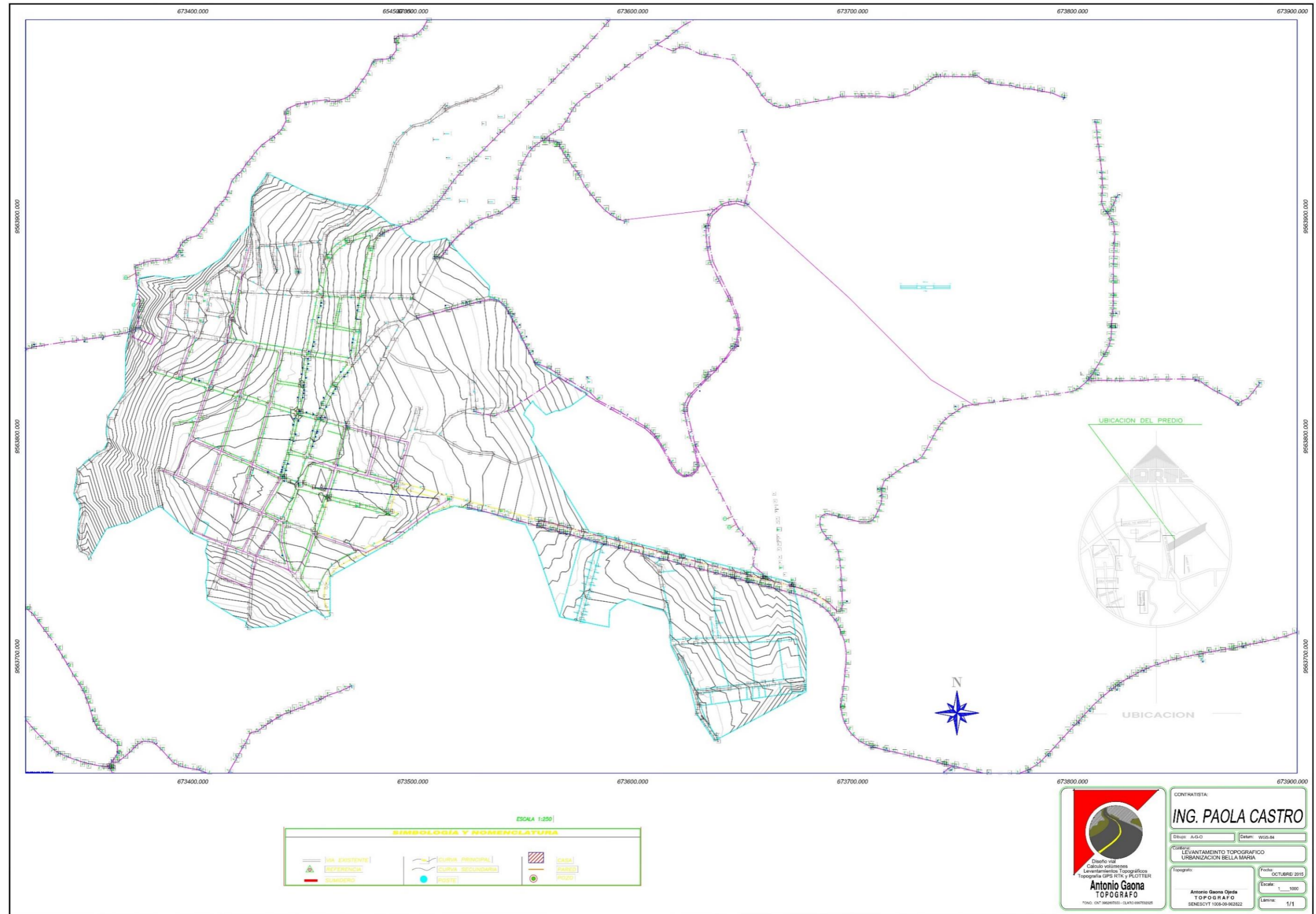
Contiene:

Escala:  
**Indicada**

Lamina:

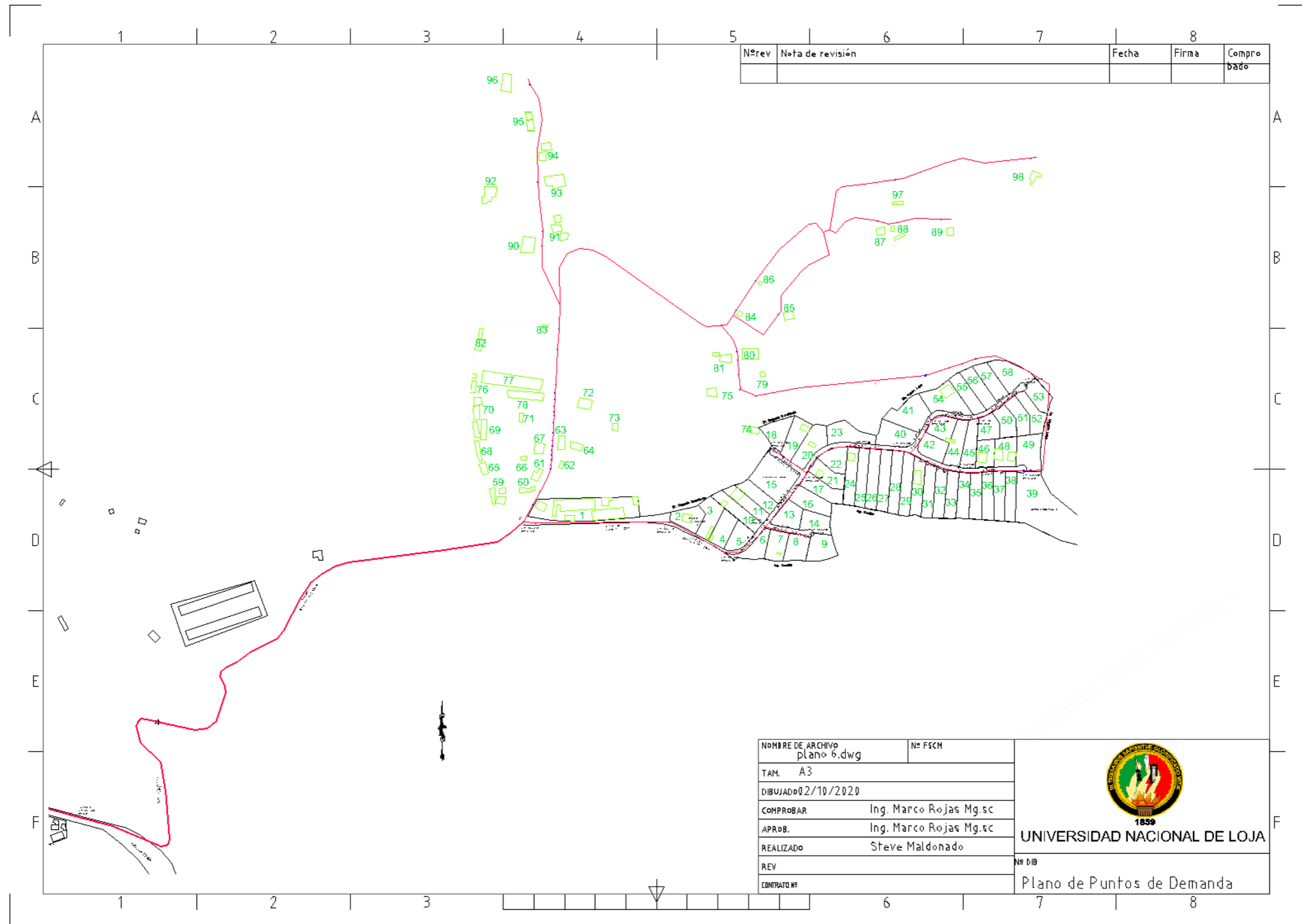
Fecha:  
**DICIEMBRE 2016**

Anexo 15. Plano del Sistema de Agua Potable de San Pedro de la Bendita





Anexo 16. Plano de ubicación de Puntos de Demanda en el Barrio Togueros.



Nºrev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Compro bado

NOMBRE DE ARCHIVO plano 6.dwg	Nº FSCM
TAM. A3	
DIBUJADO 02/10/2020	
COMPROBAR	Ing. Marco Rojas Mg.sc
APROB.	Ing. Marco Rojas Mg.sc
REALIZADO	Steve Maldonado
REV	
CONTRATO Nº	



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

1859

Nº DIB  
Plano de Puntos de Demanda

**Anexo 17. Cálculos hidráulicos con una tubería de ½ in.**

$$Q = \frac{0.49L}{s} = 4.9 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$D = 0.01388m$$

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2 = \frac{\pi}{4} * 0.01388^2 = 1.513 * 10^{-4} m^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4.9 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{1.513 * 10^{-4} m^2} = 3.238 m/s$$

$$\vartheta = 1.01 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$N_R = \frac{vD}{\vartheta} = \frac{3.24 \frac{m}{s} * 0.01388 m}{1.01 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 44 525.94 \text{ (Zona Turbulenta)}$$

$$L = 17.15 m$$

$$\varepsilon = 3 * 10^{-7} m$$

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{0.01388 m}{3 * 10^{-7} m} \right)} + \frac{5.74}{44 525.94^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.021$$

$$h_p = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} = 0.021 * \frac{17.15 m}{0.01388 m} * \frac{3.238 \frac{m}{s}}{2 * \frac{9.81 m}{s^2}} = 13.76 m$$

Pérdidas Secundarias de la Vivienda Tipo con tubería de diámetro de ½ in

Pérdidas Secundarias							
Tubería	Longitud (m)	FT	Le/d				k
			codo 90°	Válvula de compuerta de 1/2 in	Tes	Sumatoria de Le/d	
1	2,44	0,021	0	160	0	160	3,36
2	2,17	0,021	0	0	20	20	0,42
3	1,73	0,021	30	0	0	30	0,63
4	1,61	0,021	30	0	0	30	0,63

5	0,94	0,021	0	0	20	20	0,42
6	0,57	0,021	0	0	20	20	0,42
7	0,36	0,021	0	0	20	20	0,42
8	4,94	0,021	30	0	0	30	0,63
9	0,15	0,021	30	0	0	30	0,63
10	0,1	0,021	30	0	0	30	0,63
11	0,34	0,021	0	160	0	160	3,36
12	1,34	0,021	0	0	20	20	0,42
13	0,46	0,021	30	0	20	50	1,05
Total	17,15						13,02

$$h_s = K \left( \frac{v^2}{2g} \right) = 13.02 * \left( \frac{\frac{3.238m}{s}}{2 * \frac{9.81m}{s^2}} \right) = 6.96 m$$

$$h_L = h_p + h_s = 20.72 m$$

$$P_1 = 0 kPa$$

$$P_2 = 49.03 kPa$$

$$z_1 = 0 m$$

$$z_2 = 1.2 m$$

$$v_1 = 0 m/s$$

$$v_2 = 3.24 m/s$$

$$\gamma = 9.81 \frac{kN}{m^3}$$

$$h_A = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L$$

$$= \frac{(49.03 - 0)kPa}{9.81 \frac{kN}{m^3}} + (1.2 - 0)m + \frac{\left(3.24 \frac{m}{s}\right)^2 - 0}{2 \left(\frac{9.81m}{s^2}\right)} + 20.72 = 27.45 m$$

$$P_H = h_A * \gamma * Q = 27.45 m * 9.81 \frac{kN}{m^3} * 4.9 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 0.13 kW = 0.18HP$$

**Anexo 18. Memoria técnica.**

JUNTA GENERAL DE USARIOS DE AGUA POTABLE  
DE SAN PEDRO DE LA BENDITA

Factibilidad para abastecimiento de agua potable  
para el Barrio Togueros

**INFORME FINAL**

TRABAJOS DE INGENIERIA  
SISTEMA DE AGUA POTABLE

UBICACIÓN: CATÓN CATAMAYO

PARROQUIA: SAN PEDRO DE LA BENDITA

PROVINCIA: LOJA

**AUTOR: Steve Maldonado**

## **1. ANTECEDENTES**

El desarrollo de proyectos de abastecimiento de agua potable es muy importante para el bienestar y convivió de la sociedad. Además de fortalecer una cultura sana de ahorro y cuidado del recurso hídrico.

El presente proyecto se enfoca en la factibilidad de abastecimiento de agua potable para todo el barrio Togueros, conteniente de la Pre-Asociación de Oasis de Togueros y demás viviendas nuevas.

El proyecto presentado se basa en la normativa CPE INEN 5 dispuesto por la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental -SSA que tiene como título: CÓDIGO DE PRÁCTICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL. Al ser el agua un recurso indispensable permite a la sociedad se nutra y salubre.

Dado el caso se debe tener mucha cautela tanto en el diseño y construcción por su directo contacto con los habitantes, un sistema REDAP debe satisfacer menesteres requeridos por los habitantes, tales como:

- Proveer agua en volúmenes suficientes a una población específica.
- Contrarrestar de enfermedades y epidemias, sembrando hábitos de higiene.
- Parte trascendental de los servicios de limpieza pública, así como de la eliminación de los desechos industriales
- Progreso de las circunstancias comerciales y comunales del sector aprovechado.

## **2. GENERALIDADES**

### **2.1 UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO**

El sector de estudio se encuentra ubicada en el cantón Catamayo, parroquia San Pedro de la Bendita, alrededor de a 2 Km de la vía a la Costa.

### **2.2 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS**

Para este proyecto se ha usado el software Google Earth para la ubicación de los puntos de demanda, como también conocer la elevación de dichos puntos, además, se ha comprobado su

validez con la topografía y estudio Catastral hecho en la consultoría de Agua Potable y Alcantarillado para San Pedro de La Bendita aprobada por la Secretaría del Agua SENAGUA.

## 2.3 ANÁLISIS DE POBLACIÓN

Para dicho estudio se toma en cuenta la población favorecida y su colocación espacial. A continuación, se especifica el tipo de población que se considera para el estudio:

- **Población Actual:** Hace referencia a la cantidad de población actual que cuenta el sector, tomando en cuenta los planos arquitectónicos del sector se concluye que existen 98 viviendas o lotes. Que considerando una vivienda tipo del sector se asume de 5 habitantes por vivienda o lote, considerando la recomendación de la factibilidad proporcionada por el GAD Municipal del cantón Catamayo, que en total resulta 490 habitantes considerando hombres, mujeres, niños y personas de la tercera edad.
- **Población Futura:** Es la cantidad de habitantes que se suministrará de agua potable en un periodo de tiempo.
- **Fuentes de Abastecimiento:** El abastecimiento del recurso hídrico está establecido por la línea principal ubicada en la avenida de ingreso de San Pedro de la Bendita, con coordenadas N: 9563737.68, E: 674672.61 (UTM), el cual pasará de una tubería de diámetro de 50 mm a 63 mm, con la posibilidad de mejorar la velocidad y presión.

## 3. BASES DE DISEÑO

### 3.1 PERÍODO DE DISEÑO

Un sistema REDAP debe satisfacer las necesidades de un pueblo por cierto tiempo aceptable, a esto se lo conoce como periodo de diseño, el cual depende de las siguientes consideraciones:

- Durabilidad o vida útil de materiales, insumos y equipos.
- Facilidades de construcción, ampliación o sustituciones.
- Crecimiento poblacional.
- Realidad social y económica de la comunidad.

Teniendo en cuenta lo que dice la Norma CPE INEN 5 establece que el periodo de diseño es de 20 años.

Por lo tanto; **Período de diseño = 20 años**

### 3.2 POBLACIÓN DE DISEÑO

Como anteriormente se dijo se estimó la población con base en una vivienda tipo de 5 personas por vivienda o lotes, que con la planimetría se ubicó 98 viviendas y lotes, entonces la población actual está conformada por 490 habitantes.

Además, la normativa dice que la población futura no debe ser mayor que 1.25 de lo contrario se debe asumir un periodo de diseño menor, mientras que para el cálculo la población flotante va a ser descartada porque en dicho sector no tiene localidades de reconocimiento turístico.

Población proyectada	Población flotante:
Pa:	
Pa= 5 hab.	Pflot= no aplica

Índice de Crecimiento Poblacional

I = 1% (Tabla 5.1) INEN  
Período de Diseño

P<sub>D</sub> = 20 años CPE INEN 5

Población Actual Pact = P. encuestada + P. flotante

Población Futura 
$$Pf = Pa(1 + i)^n$$

Población máxima de diseño P.máx.diseño = 1.25 \* P. Actual

Localidad	P. Actual Hab.	P. Futura Hab.	P. Máx.dis 1.25*P.a (Hab.)	P. Adoptada Hab.
Pa=	5	6	6	6
TOTAL	490 Hab.	598 Hab.	613 Hab.	598 Hab.

### SELECCIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO

Para elegir el nivel de servicio se tiene en cuenta los siguientes elementos:

- Forma actual de abastecimiento.
- Necesidades, preferencias y sugerencias de los pobladores.

#### Cuadro N°1. Niveles deservicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos

NIVEL	SISTEMA	DESCRIPCIÓN
0	AP EE	Sistemas individuales. Diseñar de acuerdo con 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

Simbología utilizada:

AP: Agua potable

EE: Eliminación de excretas

ERL: Eliminación de residuos líquido

**Fuente:** CPE INEN 5: Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural. Tabla 5.2 Página 19, Agosto 1997.

Observando el cuadro se puede evidenciar que el nivel de servicio para el sector Togueros más apropiado es el **IIb**, ya que dicha zona posee domicilios con más de un grifo y también a la economía del lugar.

#### 4. USOS Y CONSUMO DEL AGUA

El proyecto, su primordial meta es satisfacer con agua potable a todos los usuarios de Togueros y proveer un óptimo nivel de salud a sus habitantes, para saber la cantidad necesaria para el suministro consta de varios factores como: el clima, las costumbres, la disponibilidad de agua, el nivel de vida, calidad del agua y el costo del servicio.

Generalmente en las poblaciones, el agua se destina principalmente para los siguientes usos:

- Bebida.



- Preparación de alimentos y cocina.
- Limpieza e higiene personal.
- Riego de jardines.
- Eliminación de desechos.

## **DOTACIÓN FUTURA**

La dotación tiene en cuenta el nivel de servicio, clima y la ubicación geográfica dispuesto por la normativa, donde para un nivel de servicio es de 100 l/hab/día al final del periodo de diseño.

**Dotación futura= 100 l/hab/día**

## **5. VARIACIONES DE CONSUMO**

El objetivo de un sistema de agua potable es de abastecer de agua de calidad aceptable en forma continua y una presión suficiente. El consumo de agua presenta variaciones estacionales, mensuales, diarias y horarios.

Siendo en épocas secas donde se observa mayor demanda que en una época lluviosa, además varía dependiendo de las actividades domésticas que se realiza, mientras que en horas de la noche el consumo es reducido.

Con las consideraciones mencionadas se definen las siguientes variaciones de consumo: consumo medio diario (Qm), consumo máximo diario (QMD), consumo máximo horario (QMH); las mismas que se calculan de acuerdo con la Norma vigente.

- **CAUDAL MEDIO DIARIO (Qm)**

Es igual a la dotación futura (Df) por la población al final del período de diseño (Pf) y por un factor de fugas (f) que según la INEN se estima en un 20%.

$$Qm = f \times \frac{Df \times Pf}{86400}$$

Dónde:

Qm – caudal medio diario, l/s

Df – Dotación futura, l/hab/día

Pf – Población futura, hab.

f – factor de fugas, (Se considera 1.20. Norma)

- **CAUDAL MÁXIMO DIARIO (QMD)**

Se lo obtiene multiplicando el caudal medio diario por el factor de mayoración máximo diario (KMD) que según la Norma es de 1.25 para todos los niveles de servicio. Así tenemos:

$$QMD = KMD \times Qm$$

Dónde:

QMD – Caudal máximo diario, l/hab/día

KMD – Factor de mayoración diaria.

- **CAUDAL MÁXIMO HORARIO (MH)**

Lo obtenemos de multiplicar el consumo medio diario por el coeficiente de mayoración máximo horario (KMH), que según la Norma es 3 para cualquier nivel de servicio. Por tanto:

$$QMH = KMH \times Qm$$

Dónde:

QMD – Dotación futura, l/hab/día

KMH – Factor de mayoración horaria.

Una vez especificados y descritos cada uno de los parámetros anteriores tenemos como resultado:

$D_f := 100$	$\frac{L}{hab \cdot día}$	Tabla 5.3 CPE INENS
Caudal medio		
$Q_m := f \cdot \frac{P_f \cdot D_f}{86400} = 0.008$	$\frac{L}{s}$	+
Caudal máximo diario		
$KMD := 1.25$	Todos los niveles de servicio	
$QMD := KMD \cdot Q_m = 0.01$	$\frac{L}{s}$	
Caudal máximo horario		
$KMH := 3$	Todos los niveles de servicio	
$QMH := KMH \cdot Q_m = 0.025$	$\frac{L}{s}$	

- RED DE DISTRIBUCIÓN**

Las normas de la INEN para diseño de sistemas de agua potable, establece que cualquiera que sea el nivel de servicio, la capacidad de la red de distribución se calculará para el consumo máximo horario (QMH). En poblaciones pequeñas no se considera incremento para combatir incendios.

$$Q \text{ Distr} = QMH$$

$$Q \text{ Distr} = 0.025 \text{ l/s}$$

A continuación, se presenta un cuadro de resumen donde se aprecia el cálculo de los caudales de diseño a ejecutar en este proyecto.

CÁLCULO DE POBLACIÓN Y CAUDALES DE DISEÑO				
Dotación:	100	L/hab/día	KMH	3
P.Futura:	6	hab	KMD	1,25
Área Total:	0,44	km2	F	1,2
Densidad:	14	hab/Ha		
NUDO	DENSIDAD	POBLACIÓN	DOTACIÓN	CAUDALES

N°	hab/km2	hab	L/hab/día	Qm (L/s)	QMH (L/s)	QMD (L/s)
1	14	6	100	0,008	0,025	0,010
2	14	6	100	0,008	0,025	0,010
3	14	6	100	0,008	0,025	0,010
4	14	6	100	0,008	0,025	0,010
5	14	6	100	0,008	0,025	0,010
6	14	6	100	0,008	0,025	0,010
7	14	6	100	0,008	0,025	0,010
8	14	6	100	0,008	0,025	0,010
9	14	6	100	0,008	0,025	0,010
10	14	6	100	0,008	0,025	0,010
11	14	6	100	0,008	0,025	0,010
12	14	6	100	0,008	0,025	0,010
13	14	6	100	0,008	0,025	0,010
14	14	6	100	0,008	0,025	0,010
15	14	6	100	0,008	0,025	0,010
16	14	6	100	0,008	0,025	0,010
17	14	6	100	0,008	0,025	0,010
18	14	6	100	0,008	0,025	0,010
19	14	6	100	0,008	0,025	0,010
20	14	6	100	0,008	0,025	0,010
21	14	6	100	0,008	0,025	0,010
22	14	6	100	0,008	0,025	0,010
23	14	6	100	0,008	0,025	0,010
24	14	6	100	0,008	0,025	0,010
25	14	6	100	0,008	0,025	0,010
26	14	6	100	0,008	0,025	0,010
27	14	6	100	0,008	0,025	0,010
28	14	6	100	0,008	0,025	0,010
29	14	6	100	0,008	0,025	0,010
30	14	6	100	0,008	0,025	0,010
31	14	6	100	0,008	0,025	0,010
32	14	6	100	0,008	0,025	0,010
33	14	6	100	0,008	0,025	0,010
34	14	6	100	0,008	0,025	0,010
35	14	6	100	0,008	0,025	0,010
36	14	6	100	0,008	0,025	0,010
37	14	6	100	0,008	0,025	0,010
38	14	6	100	0,008	0,025	0,010
39	14	6	100	0,008	0,025	0,010

CÁLCULO DE POBLACIÓN Y CAUDALES DE DISEÑO

Dotación:	100	L/hab/día		KMH	3	
P.Futura:	6	hab		KMD	1,25	
Área Total:	0,44	km2		F	1,2	
Densidad:	14	hab/Ha				
NUDO N°	DENSIDAD hab/km2	POBLACIÓN hab	DOTACIÓN L/hab/día	CAUDALES		
				Qm (L/s)	QMH (L/s)	QMD (L/s)
40	14	6	100	0,008	0,025	0,010
41	14	6	100	0,008	0,025	0,010
42	14	6	100	0,008	0,025	0,010
43	14	6	100	0,008	0,025	0,010
44	14	6	100	0,008	0,025	0,010
45	14	6	100	0,008	0,025	0,010
46	14	6	100	0,008	0,025	0,010
47	14	6	100	0,008	0,025	0,010
48	14	6	100	0,008	0,025	0,010
49	14	6	100	0,008	0,025	0,010
50	14	6	100	0,008	0,025	0,010
51	14	6	100	0,008	0,025	0,010
52	14	6	100	0,008	0,025	0,010
53	14	6	100	0,008	0,025	0,010
54	14	6	100	0,008	0,025	0,010
55	14	6	100	0,008	0,025	0,010
56	14	6	100	0,008	0,025	0,010
57	14	6	100	0,008	0,025	0,010
58	14	6	100	0,008	0,025	0,010
59	14	6	100	0,008	0,025	0,010
60	14	6	100	0,008	0,025	0,010
61	14	6	100	0,008	0,025	0,010
62	14	6	100	0,008	0,025	0,010
63	14	6	100	0,008	0,025	0,010
64	14	6	100	0,008	0,025	0,010
65	14	6	100	0,008	0,025	0,010
66	14	6	100	0,008	0,025	0,010
67	14	6	100	0,008	0,025	0,010
68	14	6	100	0,008	0,025	0,010
69	14	6	100	0,008	0,025	0,010
70	14	6	100	0,008	0,025	0,010
71	14	6	100	0,008	0,025	0,010
72	14	6	100	0,008	0,025	0,010

CÁLCULO DE POBLACIÓN Y CAUDALES DE DISEÑO						
Dotación:	100	L/hab/día		KMH	3	
P.Futura:	6	hab		KMD	1,25	
Área Total:	0,44	km2		F	1,2	
Densidad:	14	hab/Ha				
NUDO N°	DENSIDAD hab/km2	POBLACIÓN hab	DOTACIÓN L/hab/día	CAUDALES		
				Qm (L/s)	QMH (L/s)	QMD (L/s)
73	14	6	100	0,008	0,025	0,010
74	14	6	100	0,008	0,025	0,010
75	14	6	100	0,008	0,025	0,010
76	14	6	100	0,008	0,025	0,010
77	14	6	100	0,008	0,025	0,010
78	14	6	100	0,008	0,025	0,010
79	14	6	100	0,008	0,025	0,010
80	14	6	100	0,008	0,025	0,010
81	14	6	100	0,008	0,025	0,010
82	14	6	100	0,008	0,025	0,010
83	14	6	100	0,008	0,025	0,010
84	14	6	100	0,008	0,025	0,010
85	14	6	100	0,008	0,025	0,010
86	14	6	100	0,008	0,025	0,010
87	14	6	100	0,008	0,025	0,010
88	14	6	100	0,008	0,025	0,010
89	14	6	100	0,008	0,025	0,010
90	14	6	100	0,008	0,025	0,010
91	14	6	100	0,008	0,025	0,010
92	14	6	100	0,008	0,025	0,010
93	14	6	100	0,008	0,025	0,010
94	14	6	100	0,008	0,025	0,010
95	14	6	100	0,008	0,025	0,010
96	14	6	100	0,008	0,025	0,010
97	14	6	100	0,008	0,025	0,010
98	14	6	100	0,008	0,025	0,010
TOTALES		588		0,817	2,450	1,021

- **CONEXIONES DOMICILIARIAS**

De acuerdo con la distribución en el plano arquitectónico, se estima alrededor de 98 previos o viviendas que serán beneficiarias del recurso hídrico.

Todas las acometidas a las viviendas o RIDAP serán de tubería PVC roscable de 20 mm o ½ pulg que asegura una presión de 2.90 MPA.

El medidor se localizará en un sitio de fácil accesibilidad y que ofrezca seguridad.

## **6. CALCULO HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN**

Con los valores calculados se puede decir que el caudal para cada domicilio va a ser de 0.025 l/s, que además se asegura una presión de acometida entre 15 mca a 50 mca con la colocación de válvula reductoras de presión ya previamente simulado en el software Epanet.

Además, el tipo de sistema es mixto porque posee ramales abiertos para los domicilios más alejados y ramales cerrados para domicilios cercanos.

## **7. EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL PROYECTO**

Este ítem se enfoca en realizar una evaluación técnica de las posibles afectaciones que cause el sistema REDAP en el paisaje circundante de los lugares que cruzarán las obras de este.

Además, se hará una descripción general del impacto que este sistema conlleva durante las tres etapas de ejecución del sistema como lo son: durante la fase de estudio, fase constructiva y cuando el sistema se encuentre funcional.

- **IMPACTO AMBIENTAL EN LA FASE DE ESTUDIOS**

Para este tipo de afectación es nula, ya que no se realiza ningún tipo de actividad que ponga en riesgo o vulnerabilidad del paisaje o el entorno natural de Togueros.

- **IMPACTO AMBIENTAL EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN**

En este caso es la excepción, puesto que se usan equipos y materiales que pueden ocasionar ciertos daños a los paisajes, además cabe recalcar que no se talaran bosques o realizar actividades peligrosas para la conservación natural.

Los lugares que van a ser atravesados por la red de agua potable se verán afectado en las siguientes situaciones:

- ✓ La red cruzará por zonas no vegetadas o vías de acceso.
- ✓ Se deben tomar muy en cuenta que la compactación del relleno se lo hagan de acuerdo con la técnica, para evitar así posibles casos de asentimientos del terreno

- ✓ No se usará maquinaria pesada o explosivos que puedan ocasionar malestar en la población aledaña como ruido, polvo o que se obstruyan las vías.
- ✓ Evitar que las excavaciones generen daños a las cunetas de los carreteros.
- ✓ Sellar bien los accesorios como uniones del sistema para evitar fugas que puedan comprometer a socavaciones o deslizamientos en terrenos de aguas abajo.

- **IMPACTO AMBIENTAL EN LA FASE DE FUNCIONAMIENTO**

Al no estar funcional actualmente es difícil prever las posibles consecuencias del sistema, pero al futuro, una vez ejecutado el sistema se precisará de una evaluación certera de los efectos causados a la naturaleza.

- **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Tomando en cuenta lo anterior se concluye lo siguiente:

- ✓ En la fase de estudio el impacto ambiental es nulo.
- ✓ La fase más crítica es la de construcción debido a que usará equipos y maquinaria pesada que puedan desfavorecer los elementos paisajísticos del lugar.

Además, hay que tener en consideración las siguientes recomendaciones:

- ✓ Se controlará el uso de explosivos para despejar la presencia de roca que el constructor de igual forma se responsabilizará del uso y de eliminar posibles residuos de explosivos que puedan existir.
- ✓ Evitar el derramamiento de aceites o combustibles que puedan vulnerar áreas protegidas.

## **8. PRESUPUESTO REFERENCIAL DE OBRA**

Finalmente, terminado el estudio del diseño del sistema de agua potable, se procede a contabilizar los materiales y equipos a usar la obra, además de generar un presupuesto referencial con precios actualizados y salario, de acuerdo con la tabla actual del 2018 correspondiente a la mano de obra.

## **9. CONCLUSIONES**

- Se diseñó un sistema de agua potable para satisfacer las necesidades del sector Togueros de tipo convencional y funciona a gravedad usando la normativa CPE INEN 5, para un periodo de diseño de 20 años.
- Se simuló la red en el software Epanet extrayendo los siguientes resultados:



Ramal A: 2 pulg PVC, presión de trabajo 1.38 MPa

Ramal B: 1 ¼ pulg PVC, presión de trabajo 1.79 MPa

Ramal B2: ½ pulg PVC, presión de trabajo 2.90 MPa

Ramal B3: ½ pulg PVC, presión de trabajo 2.90 MPa

Ramal C: ¾ pulg PVC, presión de trabajo 2.34 MPa

Ramal D: ½ pulg PVC, presión de trabajo 2.90 MPa

Ramal E: 1 ½ pulg PVC, presión de trabajo 1.65 MPa

Ramal F: ½ pulg PVC, presión de trabajo 2.90 MPa

Ramal G: 1 pulg PVC, presión de trabajo 2.21 MPa

Ramal H: ½ pulg PVC, presión de trabajo 2.90 MPa

Ramal I: ¾ pulg PVC, presión de trabajo 2.34 MPa

Ramal I2: ½ pulg PVC, presión de trabajo 2.90 MPa

- Esta REDAP está unida a la red principal ubicada en la vía a la Costa que pasa por la Ye de ingreso a Togueros.

#### **10. RECOMENDACIONES.**

- Se recomienda la implementación de las 7 válvulas reductoras de presión, ya que de lo contrario habrá sobrepresiones, poniendo en riesgo al sistema de agua potable por la ruptura de tuberías, asegurando una presión máxima de 50 m.c.a.
- Colocar tuberías de PVC en las acometidas de los hogares, como sus accesorios recomendados en la normativa ecuatoriana y así evitar posibles errores o inconvenientes en el futuro.
- Luego del haber realizado los estudios y cálculos se recomienda a la junta administradora de agua potable de San Pedro de la Bendita, se dote de agua potable a los pobladores de Togueros, ya que es su factibilidad es acertada.
- Seguir los lineamientos planteados de lo contrario, el autor no se responsabiliza de los mismos.

## Anexo 19. Certificado de Traducción del Resumen



Loja, 14 de junio del 2022

EUROpeek Center

### **CERTIFICA:**

Que la traducción del documento adjunto por el señor **Steve Efrain Maldonado Machuca**, con número de cédula **1105372526**, cuyo tema de investigación se titula **"DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA RED EXTERNA DE AGUA POTABLE PARA EL BARRIO TOGUEROS, PARROQUIA SAN PEDRO DE LA BENDITA, CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA"**, ha sido realizado por el Centro Particular de Enseñanza del idioma inglés "EUROpeek Center".

Esta es una traducción textual del documento adjunto, y el traductor es competente para realizar traducciones.

Marcelo Javier Ordóñez Palacios



**PROFESOR**