



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en
los centros poblados de Carrizalillo, Cerro de Leones y San
Pedro, del distrito de Tambogrande, provincia de Piura,
departamento de Piura**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Carlos Enrique Vilela Aguilar

**Asesor(es):
Dr. Ing. Francisco Arteaga Núñez**

Piura, marzo de 2023

NOMBRE DEL TRABAJO

**Tesis_Vilela Aguilar Carlos_Feb2023.doc
X**

AUTOR

Carlos Vilela

RECUENTO DE PALABRAS

23943 Words

RECUENTO DE CARACTERES

117892 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

141 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.7MB

FECHA DE ENTREGA

Mar 2, 2023 11:14 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

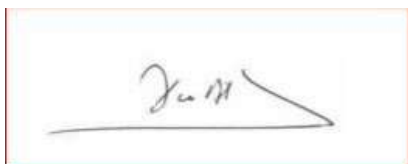
Mar 2, 2023 11:16 AM GMT-5**● 10% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



A Dios, por permitirme dar un gran paso en mi carrera profesional.
A mi familia y seres queridos por el apoyo incondicional.





Resumen

El presente proyecto tiene por finalidad realizar el diseño óptimo del sistema completo de abastecimiento de agua potable para los centros poblados de Carrizalillo, San Pedro y Cerro de Leones, pertenecientes al distrito de Tambogrande. Este sistema abarcará desde la captación del agua de su fuente natural hasta la distribución hacia cada una de las viviendas, pasando por un proceso de tratamiento y potabilización.

La metodología se basa en la recolección de la información necesaria en campo para su posterior procesamiento. Se definirán diversos parámetros y se realizará el diseño de los componentes de captación, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua potable en base a las normativas vigentes. Se hará uso de la herramienta tecnológica WaterCAD para facilitar y uniformizar el diseño de las redes de distribución, verificando en todo momento el cumplimiento de los requerimientos mínimos y máximos establecidos para diversos parámetros de servicio.

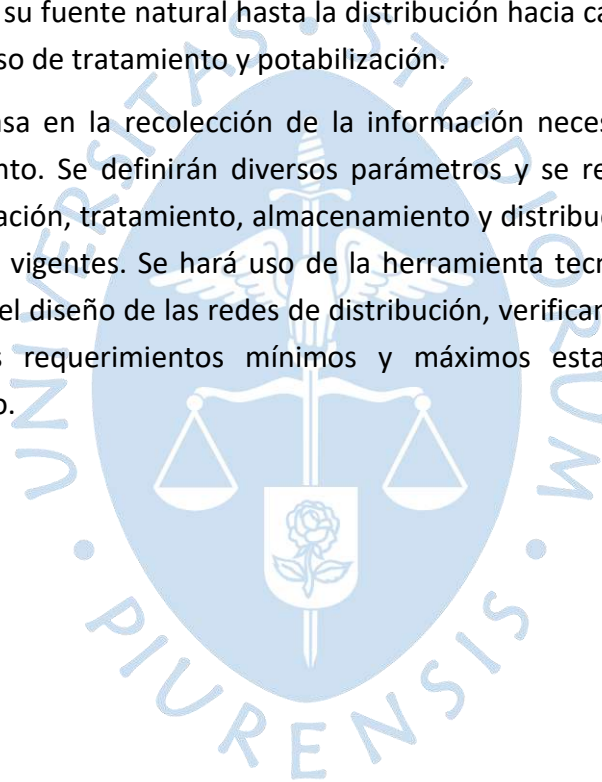




Tabla de contenido

Introducción	17
Capítulo 1 Descripción de la situación actual de los centros poblados de Carrizalillo, San Pedro y Cerro de Leones	19
1.1 Características generales de las localidades	19
1.1.1 Ubicación geográfica	19
1.1.2 Topografía.....	21
1.1.3 Población y vivienda.....	22
1.1.4 Vías de acceso.....	24
1.1.5 Características del terreno	24
1.2 Características de los sistemas existentes	24
1.2.1 Carrizalillo	24
1.2.2 San Pedro – Cerro de Leones.....	26
Capítulo 2 Marco teórico.....	29
2.1 Agua potable	29
2.1.1 Características del agua potable	29
2.2 Sistemas de abastecimiento de agua potable	30
2.2.1 Componentes del sistema de abastecimiento de agua potable	30
2.2.2 Tipos de sistema de abastecimiento de agua potable	31
2.2.3 Parámetros para el diseño.....	35
2.2.4 Criterios de diseño.....	38
2.2.5 Software WaterCAD.....	39
2.3 Plantas de tratamiento de agua potable.....	40
2.3.1 Unidades de una planta de tratamiento	41

Capítulo 3 Diseño de las redes de distribución de agua potable	43
3.1 Cálculo de parámetros de diseño de las redes de abastecimiento	43
3.1.1 Cálculo de la población futura y dotación de agua	44
3.1.2 Consideraciones para el diseño	47
3.2 Modelamiento de las redes de distribución con el software WaterCAD	48
3.2.1 Proceso de realización del modelo	48
3.2.2 Análisis de resultados	62
Capítulo 4 Diseño de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable	67
4.1 Estudio de alternativas de tratamiento	67
4.1.1 Alternativas de tratamiento propuestas	67
4.1.2 Evaluación de alternativas	69
4.2 Diseño de los componentes	75
4.2.1 Captación	75
4.2.2 Planta de tratamiento de agua potable	84
4.2.3 Líneas de impulsión	93
4.2.4 Reservorios	96
Capítulo 5 Presupuesto referencial	99
5.1 Costos de inversión	99
5.2 Costos de funcionamiento	100
Conclusiones	101
Recomendaciones	103
Referencias bibliográficas	105
Apéndices	109
Apéndice A. Padrón de usuarios	111
Apéndice B. Gasto por punto de cada sistema	121
Apéndice C. Resultados modelamiento hidráulico	126
Apéndice D. Mediciones de caudal en las quebradas de la zona	131
Apéndice E. Análisis físicos, químicos y bacteriológicos a las fuentes de agua	133
Planos	135
Plano A. Plano General	137

Plano B. Plano de Planta de Tratamiento de Agua Potable 139





Lista de tablas

Tabla 1. Resultados del padrón de usuarios	23
Tabla 2. Instituciones sociales y educativas existentes.....	23
Tabla 3. Instituciones educativas de las localidades	23
Tabla 4. Instituciones sociales de las localidades.....	23
Tabla 5. Vías de acceso a las localidades.....	24
Tabla 6. Dotación de agua según opción tecnológica y región.....	37
Tabla 7. Dotación de agua para instituciones educativas.....	37
Tabla 8. Criterios de selección de unidades para el proceso de tratamiento del agua para consumo humano.....	40
Tabla 9. Centros poblados por sistema	44
Tabla 10. Población distrito de Tambogrande años 2007 y 2017	45
Tabla 11. Parámetros para el cálculo de población futura	45
Tabla 12. Población futura sistema 1	46
Tabla 13. Población futura sistema 2	46
Tabla 14. Caudales del sistema 1	46
Tabla 15. Distribución caudal máximo horario del sistema 1	47
Tabla 16. Caudales del sistema 2	47
Tabla 17. Distribución caudal máximo horario del sistema 2	47
Tabla 18. Especificaciones técnicas tuberías para agua fría a presión NTP 399.002:2015.....	47
Tabla 19. Cuadro comparativo de alternativas de tratamiento.....	69
Tabla 20. Costos de construcción y de operación y mantenimiento	71
Tabla 21. Costos de inversión de la alternativa 1.....	72
Tabla 22. Costos de inversión de la alternativa 2.....	72

Tabla 23. VAN de la alternativa 1	73
Tabla 24. VAN de la alternativa 2	74
Tabla 25. Parámetros considerados para el diseño de la bocatoma	75
Tabla 26. Valores de K	82
Tabla 27. Capas del medio filtrante.....	87
Tabla 28. Dimensiones de la cámara de contacto.....	90
Tabla 29. Cálculos de los sistemas de desinfección	92
Tabla 30. Parámetros de las cisternas.....	93
Tabla 31. Cálculos en las líneas de impulsión.....	96
Tabla 32. Parámetros de los reservorios.....	97
Tabla 33. Costos de inversión del proyecto	99
Tabla 34. Costos de funcionamiento del proyecto	100



Lista de figuras

Figura 1. Ubicación del departamento de Piura	19
Figura 2. Ubicación de la provincia de Piura y el distrito de Tambogrande	20
Figura 3. Ubicación de la zona de Tejedores.....	20
Figura 4. Ubicación de los caseríos de Carrizalillo, San Pedro y Cerro de Leones	21
Figura 5. Superficie Carrizalillo	22
Figura 6. Superficie Cerro de Leones.....	22
Figura 7. Bomba implementada por pobladores	25
Figura 8. Tuberías para distribución.....	25
Figura 9. Letrina hoyo seco ventilado	26
Figura 10. Recipientes para acarreo de agua	26
Figura 11. Vivienda con sistema de agua existente	27
Figura 12. Vivienda con unidad básica de saneamiento existente	27
Figura 13. Sistema por gravedad sin tratamiento.....	32
Figura 14. Sistema por gravedad con tratamiento	33
Figura 15. Sistema por bombeo sin tratamiento	34
Figura 16. Sistema por bombeo con tratamiento	34
Figura 17. Distribución de los centros poblados por sistemas.....	43
Figura 18. Taller informativo para los miembros de las localidades.....	44
Figura 19. Toma de datos a los pobladores	44
Figura 20. Plano de tuberías de los sistemas	49
Figura 21. Plano de conexiones domiciliarias del sistema 1	49
Figura 22. Herramienta Units	50

Figura 23. Herramienta Calculation Options.....	51
Figura 24. Herramienta Prototypes.....	52
Figura 25. Herramienta ModelBuilder (selección de archivo)	52
Figura 26. Herramienta ModelBuilder (unidades y tolerancia)	53
Figura 27. Herramienta ModelBuilder (selección tipo de elemento)	54
Figura 28. Redes importadas.....	54
Figura 29. Conexiones domiciliarias importadas	55
Figura 30. Representación del reservorio	55
Figura 31. Herramienta Element Tables (selección de tipo de elemento)	56
Figura 32. Proceso para renombrar elementos	56
Figura 33. Herramienta TRex.....	57
Figura 34. Herramienta LoadBuilder (selección de método).....	58
Figura 35. Conexiones domiciliarias asociadas con nodos más cercanos.....	58
Figura 36. Proceso de asignación de demanda en lotes	59
Figura 37. Corrección de demanda en instituciones sociales y educativas	59
Figura 38. Asignación de rango de operación del reservorio.....	60
Figura 39. Herramienta Validate	60
Figura 40. Modificación del diámetro de las tuberías.....	61
Figura 41. Herramienta Color Coding.....	61
Figura 42. Herramienta Annotation	62
Figura 43. Selección de parámetros para etiqueta de elemento.....	62
Figura 44. Diámetros de tuberías del sistema 1.....	63
Figura 45. Diámetros de tuberías del sistema 2.....	63
Figura 46. Velocidades en tuberías del sistema 1	64
Figura 47. Velocidades en tuberías del sistema 2	65
Figura 48. Presiones del sistema 1	66
Figura 49. Presiones del sistema 2	66
Figura 50. Esquema de la alternativa 1 de tratamiento.....	68
Figura 51. Esquema de la alternativa 2 de tratamiento.....	69

Figura 52. Cálculo del tirante normal	76
Figura 53. Cálculo del crítico	76
Figura 54. Esquema de la cresta Creager	77
Figura 55. Esquema del perfil Creager	78
Figura 56. Altura del vertedero	79
Figura 57. Esquema de barraje fijo y móvil	80
Figura 58. Esquema del colchón disipador	80
Figura 59. Esquema del bloque de amortiguamiento	82
Figura 60. Esquema del bloque de amortiguamiento con valores calculados	83
Figura 61. Esquema de la ventana de captación	83
Figura 62. Estructura de entrada del FL – vista en planta	85
Figura 63. Estructura de entrada del FL – vista en corte	85
Figura 64. Dimensiones de las unidades del filtro	86
Figura 65. Estructura de salida del FL – vista en planta	87
Figura 66. Estructura de salida del FL – vista en corte	88
Figura 67. Unidad de depósito y lavado de arena	89
Figura 68. Cámara de contacto – vista en planta	90
Figura 69. Cisterna – vista en planta	93
Figura 70. Reservorio del sistema 1 – vista en planta	97
Figura 71. Reservorio del sistema 2 – vista en planta	97



Introducción

El acceso al servicio de abastecimiento de agua potable para consumo humano es sin duda alguna una necesidad de carácter primordial en la vida de las personas, pues este recurso es indispensable en muchas de las actividades que se realizan día a día tales como alimentación, higiene personal, agricultura, ganadería, etc. La escasez de este servicio en las zonas rurales del país es uno de los más grandes problemas que enfrentan las comunidades hoy en día, pues estos influyen de manera negativa en la salud y calidad de vida de sus pobladores, al estar expuestos a diferentes tipos de enfermedades de origen hídrico como infecciosas, parasitarias y dermatológicas.

A pesar de ser uno de los recursos más valiosos para el desarrollo de las familias, en el Perú, 3 millones de personas (9.3%) aún carecen de algún sistema de abastecimiento de agua potable, siendo que alrededor de 1.8 millones de estos peruanos, pertenecen al sector rural (ENAPRESS, 2018). Llegar a una cobertura total, es un reto de gran magnitud debido a que es imposible poder suministrar este servicio a una mayor velocidad que la del crecimiento poblacional en las zonas rurales del país.

En este sentido, la presente tesis, se centra en el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable de las comunidades de Carrizalillo, Cerro de Leones y San Pedro, basándose en la información recolectada por el equipo de la consultora María Josefa Gutiérrez Adrianzén, en cuya empresa "R&G Consultores" estuvo laborando el tesista como Asistente de Jefe de Proyecto en el período inicial de la elaboración del expediente técnico del proyecto "Creación del servicio de agua potable y saneamiento en los centros poblados de Carrizalillo, Cerro de Leones y San Pedro, del distrito de Tambogrande – provincia de Piura – departamento de Piura, con código de inversiones N°2500300" asignado por la Municipalidad distrital de Tambogrande.

El diseño se realizará de acuerdo a las demandas de la población de diseño y considerando que reciban un tratamiento que garantice que sean aptas para el consumo humano y contribuir a una mejor calidad de vida de la población afectada; esto como manera de mejorar las condiciones actuales de los pobladores de estas localidades, quienes recurren a sistemas rudimentarios para poder abastecerse de este recurso, lo que representa un gran peligro para ellos debido a que el agua recolectada no pasa por un tratamiento adecuado y es

utilizada para consumo y actividades básicas, lo que perjudica gravemente la salud de los habitantes.



Capítulo 1

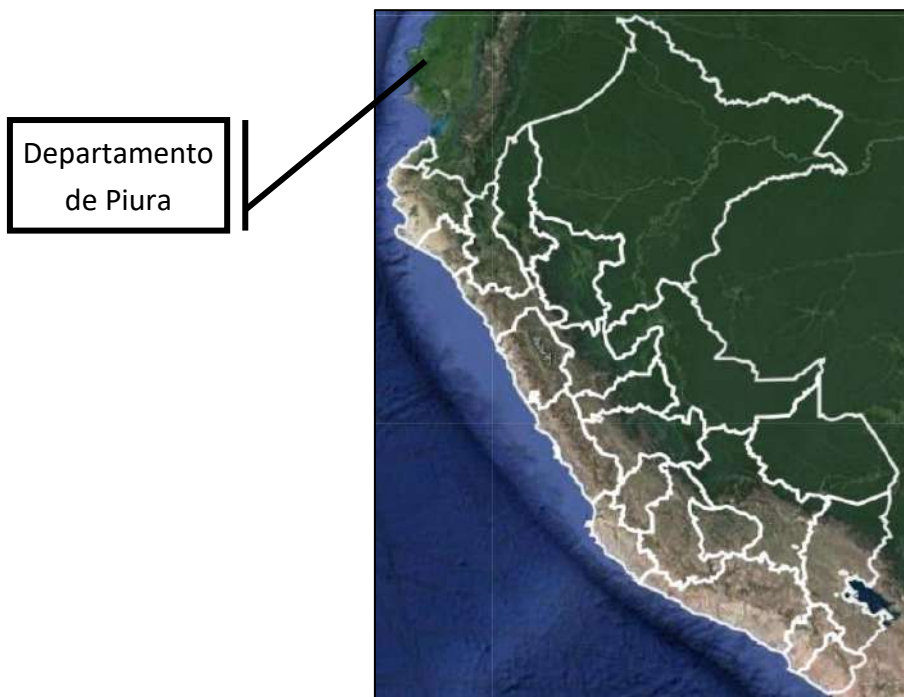
Descripción de la situación actual de los centros poblados de Carrizalillo, San Pedro y Cerro de Leones

1.1 Características generales de las localidades

1.1.1 Ubicación geográfica

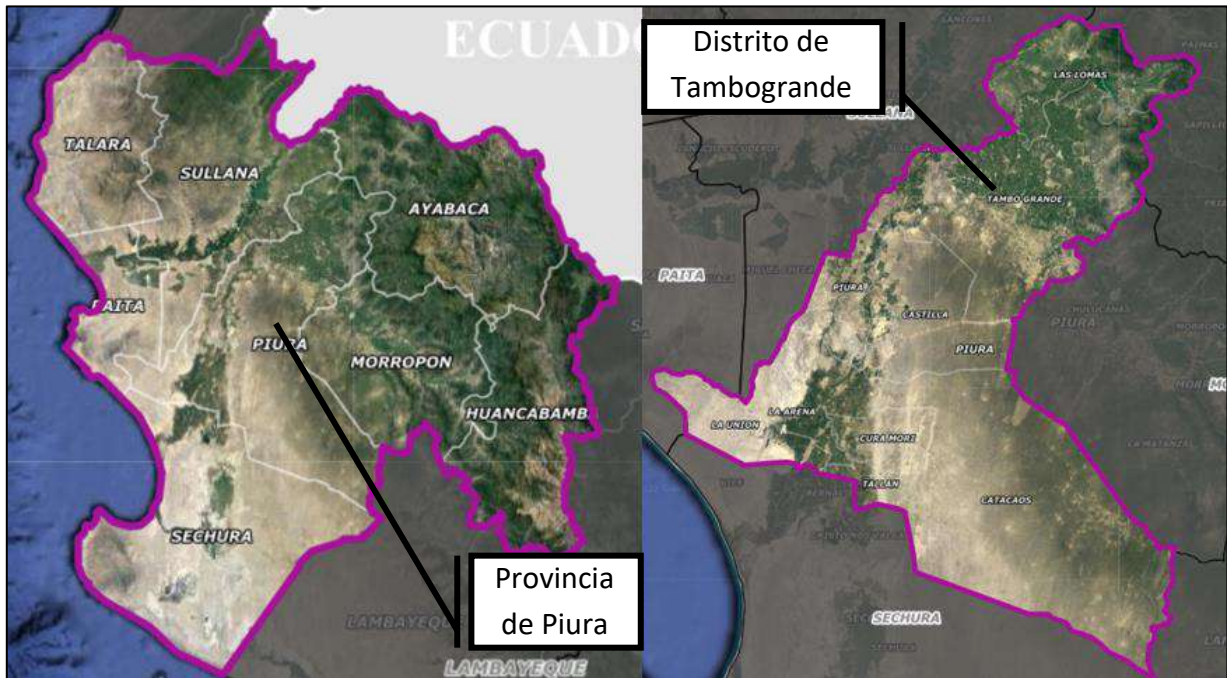
La zona de estudio, está conformada por los centros poblados de Carrizalillo, San Pedro y Cerro de Leones, los cuales se encuentran ubicados en la zona noroeste del Perú, específicamente en la zona de Tejedores, la cual se encuentra ubicada en el departamento de Piura, provincia de Piura; en la parte superior derecha del distrito de Tambogrande, que es uno de los 10 por los que está conformada dicha provincia, tal como se observa en las Figuras 1, 2, 3 y 4.

Figura 1. Ubicación del departamento de Piura



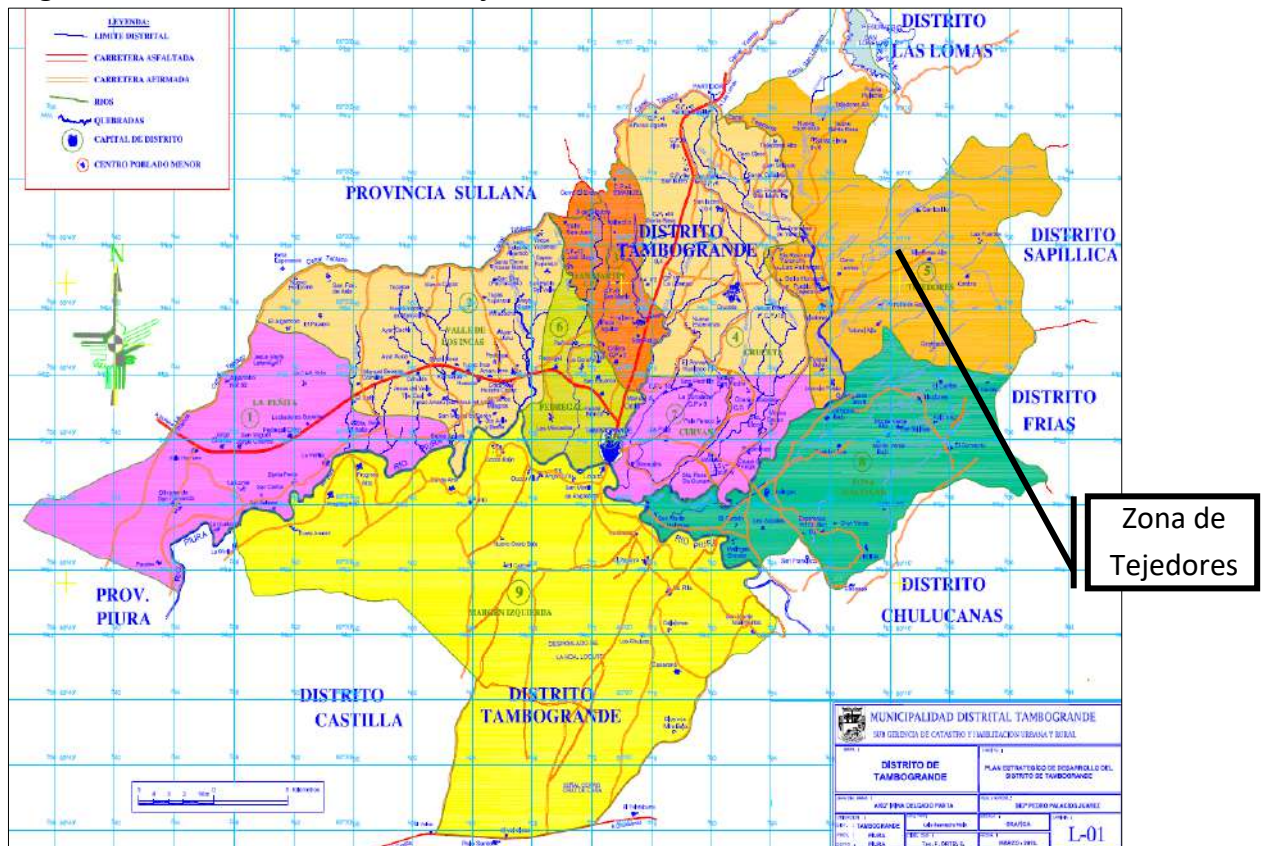
Nota. Adaptado de Plataforma Nacional de Datos Georreferenciados Geo Perú (2022)

Figura 2. Ubicación de la provincia de Piura y el distrito de Tambogrande



Nota. Adaptado de Plataforma Nacional de Datos Georreferenciados Geo Perú (2022)

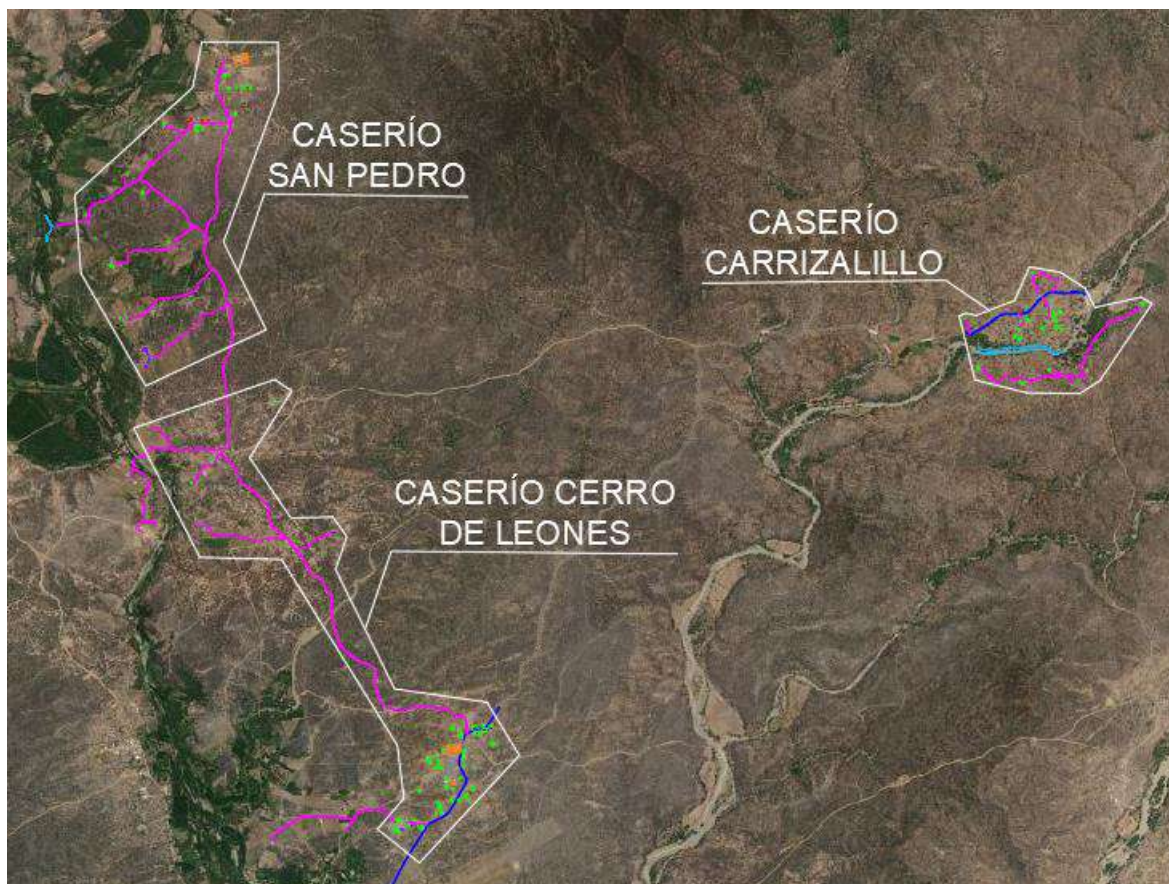
Figura 3. Ubicación de la zona de Tejedores



Nota. Adaptado de Municipalidad distrital de Tambogrande

Los centros poblados se encuentran distribuidos de la siguiente forma:

Figura 4. Ubicación de los caseríos de Carrizalillo, San Pedro y Cerro de Leones



Y limitan por el sur con el caserío Tejedores, por el oeste con el centro poblado San Francisco de Yaranche, por el este con el distrito de Sapillica, perteneciente a la provincia de Ayabaca y por el norte con el caserío Santa Elena.

En la zona del proyecto se localizan dos quebradas: la quebrada Huabal que está contigua a Carrizalillo, y la quebrada La Huaca que se encuentra al oeste del caserío San Pedro.

1.1.2 Topografía

La topografía no es homogénea para los tres centros poblados. Carrizalillo, el más apartado, presenta una superficie muy accidentada con pendientes muy pronunciadas. Las elevaciones van desde los 209 hasta los 231 m.s.n.m (v. Figura 5).

En cuanto a Cerro de Leones, su topografía es menos pronunciada, pero con algunas pendientes leves; mientras que en San Pedro se encuentran zonas con topografías variadas, pues presenta pendientes leves y unas más pronunciadas. Cerro de Leones se encuentra a una altitud menor a la de las otras dos localidades, y San Pedro posee la cota más elevada. En conjunto, los caseríos de San Pedro y Cerro de Leones tienen elevaciones desde los 146 a los 225 m.s.n.m (v. Figura 6).

Figura 5. Superficie Carrizalillo**Figura 6. Superficie Cerro de Leones**

1.1.3 Población y vivienda

Debido a la falta de información acerca de la cantidad de habitantes de las comunidades que abarca el proyecto, se realizó a mediados del año 2021 el padrón de usuarios como parte del estudio de intervención social que se encontraba en proceso de elaboración por parte de la empresa R&G Consultores, a través del cual se obtuvieron los datos necesarios de población y vivienda, gracias a esto, se pudo conocer de manera exacta la cantidad de pobladores a ser beneficiados en cada localidad.

Los tres centros poblados involucrados presentan territorios no muy extensos, por lo que sus poblaciones son relativamente pequeñas. Los resultados obtenidos en dicho estudio se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del padrón de usuarios

Centro poblado	Población al 2021 (hab.)	Cantidad de viviendas (viv.)	Densidad poblacional (hab./viv.)
Carrizalillo	128	38	3.37
Cerro de Leones	257	79	3.25
San Pedro	98	28	3.50
Total	483	145	-

Se determinó también las instituciones educativas e instituciones sociales existentes en las localidades, las cuales se muestran en las Tablas 2, 3 y 4.

Tabla 2. Instituciones sociales y educativas existentes

Centro Poblado	I.I.E.E.	I.I.S.S.
Carrizalillo	0	2
San Pedro	2	2
Cerro de Leones	2	7
Total	4	11

Tabla 3. Instituciones educativas de las localidades

Localidad	Nivel/ Modalidad	Código Modular	Nombre de I.I.E.E.	N° de alumnos	N° de profesores
Cerro de Leones	Primaria	673780	N° 15478	22	1
	Inicial	1715416	N° 1416	10	1
	Primaria	915785	N° 20450	19	1
San Pedro	Inicial no escolarizado	3887530	Divino niño Jesús	4	1
Total				55	4

Tabla 4. Instituciones sociales de las localidades

Localidad	Institución social
Carrizalillo	Salón CODELO
	Cocina común
Cerro de Leones	Vaso de leche
	Salón CODELO
	Comedor popular
	Salón Comunal
	Salón Comunal
	Salón Comunal
San Pedro	Cancha de fútbol
	Salón comunal
	Salón de madres

1.1.4 Vías de acceso

Para poder acceder a los centros poblados desde la ciudad de Piura, se tiene que llegar primero a la ciudad de Tambogrande a través de una vía asfaltada, posterior a esto se debe pasar por la zona de Crucetas hasta llegar a Tejedores, desde aquí se sigue el camino para llegar a las 3 localidades.

En la Tabla 5 se muestran las rutas a seguir hasta cada centro poblado, detallando el tipo y estado del camino, tiempos y distancias.

Tabla 5. Vías de acceso a las localidades

Ítem	Inicio	Fin	Vía	Tipo de vía	Estado de vía	Medio	Tiempo (min.)	Distancia (km.)
1	Piura	Km 21	PE-1NJ	Asfaltado	Bueno	Terrestre	15.00	21 km
2	Km 21	Tambogrande	PI-106/PE-1NU	Asfaltado	Bueno	Terrestre	45.00	28.5 km
3	Tambogrande	Crucetas	PE-1NL (Dv. Tambogrande)	Asfaltado	Bueno	Terrestre	25.00	14.9km
4	Crucetas	Tejedores	-	Trocha	Regular	Terrestre	20.00	8.1km
5	Tejedores	Cerro de Leones	PI-762	Trocha/Asfaltado	Regular	Terrestre	20.00	8.0km
6	Cerro de Leones	San Pedro	-	Trocha	Regular	Terrestre	15.00	5.2km
7	Cerro de Leones	Carrizalillo	-	Asfaltado	Bueno	Terrestre	15.00	5.3km

1.1.5 Características del terreno

Gracias al estudio de suelos realizado por el Laboratorio de ensayos de materiales y estructuras de la Universidad Nacional de Piura por encargo del equipo consultor del proyecto (R&G Consultores) se pudo determinar los tipos de terrenos presentes en la zona.

Se pudo identificar suelos en su mayoría arcillosos y limosos de baja plasticidad, aunque también se encontraron zonas con presencia de grava, arena arcillosa y roca de consistencia dura.

Un punto a destacar es los resultados obtenidos en los test de percolación, los cuales indican que los terrenos presentan un tiempo de infiltración lento, muchas veces con una tasa de infiltración incluso mayor a 12 min/cm.

1.2 Características de los sistemas existentes

1.2.1 Carrizalillo

1.2.1.1 Agua potable. Debido a la falta de un método de abastecimiento de agua, los pobladores de Carrizalillo han implementado por cuenta propia un sistema, que consiste en el uso del agua de la quebrada Huabal, aprovechando su cercanía a la localidad, donde se ha

colocado una bomba a partir de la cual salen tuberías de muy pequeños diámetros para repartir el agua entre algunas casas beneficiadas, las cuales almacenan el agua en tanques para su posterior utilización, como se puede visualizar en las Figuras 7 y 8.

Figura 7. Bomba implementada por pobladores



Figura 8. Tuberías para distribución



La mayor desventaja de esta práctica, es que el agua que la población utiliza para sus diferentes actividades diarias, no pasa por un tratamiento, lo que puede estar perjudicando gravemente la salud y calidad de vida de los habitantes, quedando expuestos a diferentes tipos de enfermedades de origen hídrico.

1.2.1.2 Eliminación de excretas. En la localidad, se puede observar la presencia de letrinas de hoyo seco ventilado, las cuales cuentan ya con más de 10 años de antigüedad, habiendo superado ampliamente su período de uso. Estas unidades por su naturaleza no cuentan con arrastre hidráulico, además de haber sido construidas sin criterios técnicos adecuados. En su mayoría son casetas pequeñas elaboradas con madera y calamina (v. Figura 9).

Figura 9. Letrina hoyo seco ventilado



1.2.2 San Pedro – Cerro de Leones

1.2.2.1 Agua potable. Ambos centros poblados aprovechan el agua proveniente de la quebrada La Huaca, debido a su cercanía con esta. Estos pobladores se limitan a acarrear el agua hacia sus viviendas con el uso de recipientes de diferentes tamaños como: bidones, porongos, cilindros, etc., haciendo uso de animales de carga para facilitar su transporte.

Según lo observado en la visita de campo (v. Figura 10), estos depósitos empleados muchas veces son inadecuados para el acarreo de agua, debido a que no se encuentran totalmente limpios en su mayoría, afectando directamente la salud de las familias.

Figura 10. Recipientes para acarreo de agua



Cabe resaltar, que en la localidad de San Pedro existe un grupo reducido de hogares que presentan un sistema de distribución de agua construido de manera rústica (v. Figura 11), sin pasar por un tratamiento, lo que merma en la calidad de vida de estas personas. Dichas familias, decidieron no formar parte del proyecto que beneficia a estos centros poblados, por lo que estas viviendas no serán consideradas en el diseño de los sistemas.

Figura 11. Vivienda con sistema de agua existente



1.2.2.2 Eliminación de excretas. Se pudo observar la presencia del mismo tipo de letrinas de hoyo seco ventilado que se encontró en Carrizalillo. Adicional a esto, en el grupo de viviendas que presentan sistema de distribución creado por ellos mismos, se observó la presencia de unidades básicas de saneamiento elaboradas de muros de ladrillo y techos de calamina, las cuales contaban con ducha, lavador e inodoro, como se evidencia en la Figura 12. Es necesario destacar que dichas unidades presentan más de 10 años de antigüedad y nunca estuvieron en funcionamiento según testimonio de los pobladores, teniendo que almacenar agua en tinas para poder hacer uso de las instalaciones.

Figura 12. Vivienda con unidad básica de saneamiento existente





Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Agua potable

Se denomina agua potable a aquella que es apta para el consumo humano, es decir, que puede utilizarse para beber sin perjudicar la salud de las personas. El principal objetivo de potabilizar el agua es poder suministrar agua de calidad a la población, garantizando que esta no sea una vía de enfermedades y, por el contrario, su uso para diferentes fines como higiene o ingesta pueda ayudar a prevenirlas (SEDAPAR, s.f.).

El acceso al agua potable no es solo una mejora en el sector salud, sino que significa un gran desarrollo desde el punto de vista económico, ya que los costos que demanda brindar este servicio a las diferentes localidades suelen ser menores en comparación con los gastos de asistencia médica provocados a raíz de las enfermedades de origen hídrico. Este enunciado es válido en diferentes grados de inversión: desde la construcción de grandes infraestructuras de abastecimiento hasta el proceso casero de potabilización. Asimismo, la experiencia pone en evidencia que los más beneficiados con estos procesos son las personas de bajos recursos económicos, lo que demuestra que puede utilizarse como una herramienta eficaz para la mitigación de la pobreza (Organización Mundial de la Salud, 2006).

2.1.1 Características del agua potable

El objetivo de tratar el agua, es disminuir el contenido de organismos vivos, sustancias químicas y biológicas suspendidos en esta para hacerla adecuada para el uso por parte de la población de acuerdo a los diferentes estándares de calidad nacionales e internacionales.

Según Orellana (2005), la calidad del agua se debe evaluar en cuanto a sus propiedades físicas, químicas y biológicas:

2.1.1.1 Características físicas. Es importante evaluar parámetros como el color, turbidez, sabor y olor del agua. La presencia de turbidez puede significar la presencia de patógenos que podrían generar enfermedades. Las aguas superficiales son las que presentan una mayor deficiencia respecto a esta variable, llegando a registrar desde 10 hasta 1 000 unidades de turbidez.

La presencia de algunos minerales, residuos industriales y materia orgánica afecta directamente al color que presenta el agua, mientras que las sustancias químicas y materia en descomposición puede generar olores y sabores no deseados en el agua, lo que la hace no apta para su uso en diferentes fines.

2.1.1.2 Características químicas. Este aspecto del agua debe analizarse para determinar si los diferentes compuestos químicos presentes ya sean de origen natural o industrial pueden ser favorables o perjudiciales de acuerdo a su cantidad y composición.

En este sentido es importante evaluar parámetros como la dureza del agua, acidez y la presencia de sustancias que puedan generar molestias al organismo, tales como el fenol, arsénico, nitratos, entre otros.

2.1.1.3 Características biológicas. La presencia de elementos biológicos en el agua puede deberse a origen natural o ser producto de la contaminación industrial, generando la presencia de diferentes microorganismos.

Por otro lado, la biodiversidad que puede alcanzar un agua natural puede ser un indicador de la poca contaminación que presenta. Aun así, para que esta sea destinada a uso humano, deberá pasar por un proceso de tratamiento para eliminar todo elemento biológico que contenga.

Desde la perspectiva sanitaria, se debe tener especial cuidado con la presencia de microorganismos como las bacterias y algas, pero también de hongos, levaduras y mohos que pueden significar presencia de materia orgánica en descomposición.

2.2 Sistemas de abastecimiento de agua potable

Son aquellos sistemas que se utilizan con la finalidad de hacer llegar agua apta para el consumo humano a las diferentes localidades, transportándola desde el punto donde se capta y pasándola por un tratamiento adecuado de ser necesario.

2.2.1 Componentes del sistema de abastecimiento de agua potable

Un sistema de abastecimiento y distribución de agua potable puede conformarse por uno o más de los siguientes elementos:

2.2.1.1 Captación. Puede ser superficial, subterránea o pluvial, y es de dónde se extraerá el agua que abastecerá a la población. Entre los principales tipos de captación tenemos:

- Barraje fijo sin canal de derivación
- Barraje fijo con canal de derivación
- Balsa flotante
- Caisson
- Manantial de ladera
- Manantial de fondo

- Galería filtrantes
- Pozo

2.2.1.2 Línea de conducción o impulsión. Componentes que permiten transportar el agua captada hacia la siguiente estructura, la cual puede tratarse de una PTAP o de un reservorio.

2.2.1.3 Planta de tratamiento. Necesaria cuando el agua captada requiere pasar por un proceso de tratamiento previo a su distribución. Está conformada por varios componentes de los que se hablará a detalle más adelante en el presente capítulo.

2.2.1.4 Reservorio o tanque elevado. Estructura que permite almacenar el volumen de agua necesaria para abastecer a los pobladores. Debe estar situado en un lugar cercano a la población y debe contar con una cota de terreno que permita garantizar la presión mínima requerida para cualquier punto del sistema.

2.2.1.5 Línea de aducción y redes de distribución. Componentes del sistema de agua potable que permiten la llegada del agua que sale del reservorio a cada hogar haciendo uso de tuberías, accesorios y conexiones domiciliarias.

2.2.1.6 Conexiones domiciliarias. Son estructuras que permiten la conexión de cada vivienda con la red matriz del sistema de agua potable a través de una tubería y las cuales deben situarse en la parte frontal de cada casa.

2.2.1.7 Otro componentes. Cabe resaltar que los mencionados anteriormente son los componentes básicos que conforman un sistema de abastecimiento de agua, pero que de ser necesarios se deben agregar todos aquellos elementos que complementen o satisfagan alguna necesidad en el proceso.

2.2.2 Tipos de sistema de abastecimiento de agua potable

Según el Programa Nacional de Agua y Saneamiento Rural (2004), se pueden encontrar soluciones de ingeniería a través de sistemas convencionales y no convencionales en cuanto al abastecimiento de agua se refiere:

2.2.2.1 Sistemas convencionales. Son aquellos que logran transportar el servicio de agua hasta las viviendas a través del uso de un sistema de redes de distribución, las cuáles llegan hasta las conexiones domiciliarias o piletas de uso público.

2.2.2.1.1 Sistemas por gravedad. Se caracterizan porque la fuente de captación se encuentra en un nivel superior al terreno donde se va a almacenar el agua, facilitando el transporte del agua a través de líneas de conducción por fuerza de gravedad hasta el reservorio o tanque, desde el cual se empieza la distribución.

a) Sin tratamiento

Aquellos que cuentan con fuentes de agua subterráneas y son captadas a través de manantiales o galerías filtrantes. Lo particular es que el agua que proviene de estas fuentes es de buena calidad y no es necesario que pasen por un tratamiento, ya que es suficiente con que sean desinfectadas (v. Figura 13).

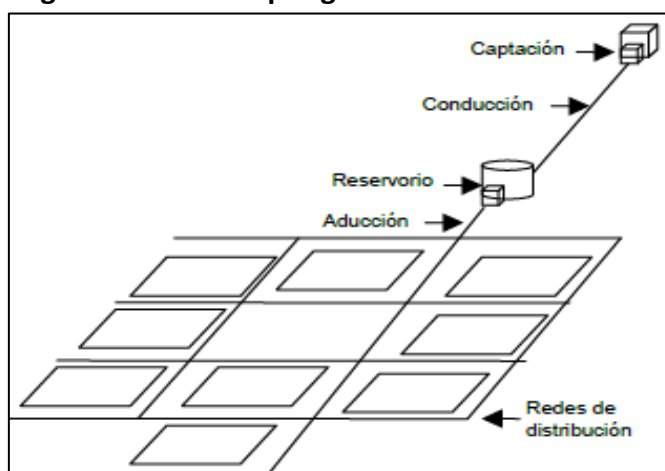
La principal ventaja de este tipo de sistemas es que su funcionamiento no depende algún tipo de energía externa y minimiza los gastos por operación y mantenimiento.

b) Con tratamiento

Las fuentes de agua de estos sistemas provienen de aguas en la superficie como ríos, quebradas, canales, etc., que por su misma naturaleza es necesario un tratamiento previo a la distribución del agua. Se hace uso de plantas de tratamiento con la finalidad de mejorar la calidad del agua y hacerla adecuada para el consumo humano (v. Figura 14).

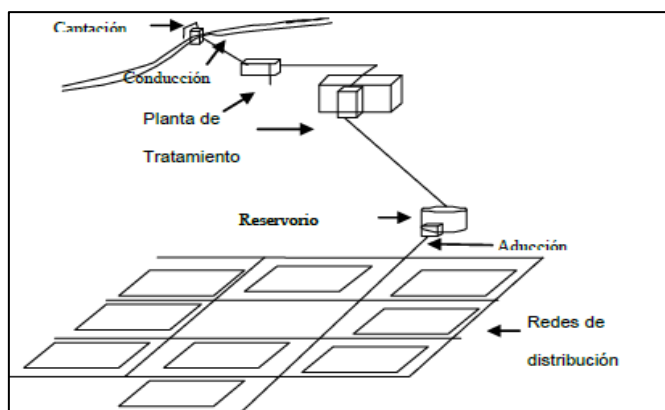
Al igual que el sistema anterior, no requiere de una fuente de energía adicional, pero sí demanda mayores costos; tanto en la etapa de construcción, debido a las infraestructuras de tratamiento, así como en la etapa de operación y mantenimiento pues se requiere de mano de obra capacitada para el correcto funcionamiento de la planta. Esto último se ve reflejado en un alza de la cuota familiar mensual.

Figura 13. Sistema por gravedad sin tratamiento



Nota. Adaptado de Criterios para la selección de opciones técnicas y niveles de servicio en sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento en zonas rurales (PRONASAR, 2004)

Figura 14. Sistema por gravedad con tratamiento



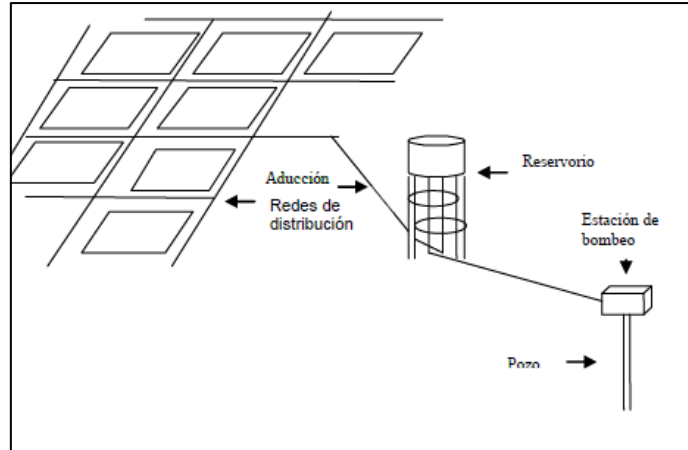
Nota. Adaptado de Criterios para la selección de opciones técnicas y niveles de servicio en sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento en zonas rurales (PRONASAR, 2004)

2.2.2.1.2 Sistemas por bombeo. Se caracterizan porque el agua captada se encuentra en una cota menor al lugar donde se ubicará el almacenamiento, por lo que se requiere sistemas de bombeo que la impulsen hacia un reservorio para su posterior distribución.

a) Sin tratamiento

Sistemas cuya fuente de captación son aguas subterráneas las cuáles son extraídas por lo general a través de pozos, los cuales son implementados con bombas sumergibles para impulsar el agua hasta el tanque de almacenamiento, como se observa en la Figura 15.

Este sistema brinda una mayor seguridad, al tratarse de aguas de buena calidad, pero implica una mayor inversión por la implementación del pozo y sistema de bombeo, además de personal adecuado para la operación y mantenimiento de las instalaciones.

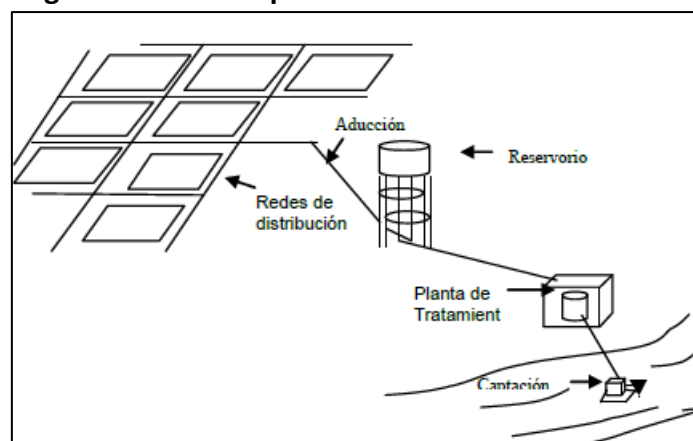
Figura 15. Sistema por bombeo sin tratamiento

Nota. Adaptado de Criterios para la selección de opciones técnicas y niveles de servicio en sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento en zonas rurales (PRONASAR, 2004)

b) Con tratamiento

Para estos sistemas, el agua se toma de fuentes superficiales cuyo nivel está por debajo de la comunidad beneficiada, por lo que se hace uso de una planta de tratamiento equipada con bombas, las cuales impulsan el agua a los reservorios luego de haber pasado por un proceso completo de potabilización, como lo esquematizado en la Figura 16.

Es el sistema más complejo y que demanda mayores costos debido a la utilización de plantas de tratamiento y estaciones de bombeo, además de significar un mayor gasto a los pobladores para poder mantenerla en funcionamiento.

Figura 16. Sistema por bombeo con tratamiento

Nota. Adaptado de Criterios para la selección de opciones técnicas y niveles de servicio en sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento en zonas rurales (PRONASAR, 2004)

2.2.2.2 Sistemas no convencionales. Son sistemas que se centran en medios para la obtención de agua potable a nivel familiar y/o multifamiliar, ya que no hace uso de redes de distribución domiciliarias. Requieren muchas veces del carguío, transporte, almacenamiento y desinfección a nivel manual del agua a ser utilizada por las familias.

Entre estos sistemas, se encuentran:

- Filtros de mesa
- Pozos con bombas manuales
- Protección de manantiales
- Captación del agua de lluvia

2.2.3 Parámetros para el diseño

Parte del proceso del diseño de un sistema de abastecimiento comprende recopilar y calcular ciertos parámetros iniciales, necesarios para poder continuar con los métodos de diseño.

2.2.3.1 Período de diseño. Según la NORMA OS.100 (2006), para infraestructuras sanitarias para proyectos que comprendan poblaciones, el período de diseño a considerar será establecido por el proyectista asegurando la optimización de los períodos de funcionamiento de los elementos que constituyen el sistema.

De acuerdo a lo establecido en la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para sistemas de Saneamiento en el ámbito Rural (2018), estos períodos están relacionados con el crecimiento de la población, con el grado de dificultad que signifique la infraestructura, con la economía de escala y la vida útil de dichas estructuras.

Teniendo en cuenta los factores mencionados se recomienda como máximo los siguientes períodos de diseño:

- Fuentes de abastecimiento y obras de captación: 20 años
- Plantas de tratamiento y reservorios: 20 años
- Tuberías de impulsión, conducción y distribución: 20 años
- Estaciones de bombeo: 20 años
- Equipos de bombeo: 10 años
- Unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico, composteras: 10 años
- Hoyos secos ventilados: 5 años

2.2.3.2 Población de diseño. Sistemas como estos, deberán diseñarse para poder cubrir la demanda de la población futura en un determinado período de tiempo, pues no se busca solo satisfacer las necesidades actuales, debido a que las comunidades crecen con el pasar de los años.

La NORMA OS.100 (2006) indica que para grupos humanos existentes para el cálculo del crecimiento se deberá tomar como referencia los planes reguladores o programas de desarrollo regional, o si en caso estos no existiesen, se deberá considerar las características de la localidad, ya sea en el ámbito histórico, socioeconómico, etc.

El Programa Nacional de Agua y Saneamiento Rural (2004), establece que la población de diseño deberá ser calculada por el proyectista para un período de 20 años en el futuro y para esto deberá tomar como referencia datos estadísticos de los censos u otras fuentes de información que se adecuen al crecimiento de estas poblaciones.

Existen diferentes métodos para el cálculo de la población futura. En la presente tesis se optó por el uso del método del crecimiento aritmético, utilizando como base la población empadronada en la actualidad.

El método aritmético hace uso de la siguiente fórmula:

$$Pf = Po(1 + r * t)$$

Dónde:

r: tasa de crecimiento

t: período de tiempo (años)

Po: Población al inicio del período de tiempo

Pf: Población al final del período de tiempo

2.2.3.2.1 Dotaciones. Si se habla de dotación, se hace referencia a la cantidad de agua que un poblador promedio de la zona de estudio consume en un día de manera que satisfaga todas sus necesidades básicas y actividades que realiza a lo largo del día, teniendo en cuenta las pérdidas.

Su unidad de medida es el litro/habitante.día y está relacionado directamente con las características de cada población, tales como sus actividades económicas, costumbres, calidad de vida y usos que se le da al agua (Vargas Vásquez, 2020).

La NORMA OS.100 (2006) señala que hace falta un estudio de los consumos debidamente justificado para poder establecer un valor de dotación promedio diaria anual para cada poblador. Sin embargo, cuando se carece de dichos estudios pueden utilizarse otros valores estándar establecidos.

La Tabla 6 indica lo estipulado en la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para sistemas de Saneamiento en el ámbito Rural (2018), la cual señala que la selección de la dotación para centros poblados rurales depende de la opción tecnológica para eliminación de excretas por la que se haya optado, de esta manera se tiene:

Tabla 6. Dotación de agua según opción tecnológica y región

Región	Sin arrastre hidráulico (compostera y hoyo seco ventilado)	Con arrastre hidráulico (tanque séptico mejorado)
Costa	60	90
Sierra	50	80
Selva	70	100

Nota. Adaptado de Norma técnica de diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de raneamiento en el ámbito rural (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018)

La Tabla 7 establece los valores de dotación que deben tenerse en cuenta para instituciones educativas de los centros poblados:

Tabla 7. Dotación de agua para instituciones educativas

Descripción	Dotación (l/alumno.d)
Educación primaria e inferior (sin residencia)	20
Educación secundaria y superior (sin residencia)	25
Educación en general (con residencia)	50

Nota. Adaptado de Norma técnica de diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de raneamiento en el ámbito rural (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018)

Para piletas de uso público, se puede asumir un valor de dotación de 30 l/hab.d.

En cuanto a instituciones sociales, debido a la falta de información para estos establecimientos en zonas rurales, se tomó como referencia las dotaciones establecidas en la Norma IS.010 (2006), la cual especifica en el artículo 2.2 los siguientes valores:

- Para comedores una dotación de 2000 litros para áreas menores a 40 m², 50 l/m² para áreas entre 41 a 100 m² y 40l/ m² para áreas mayores a 100 m².
- Para locales comunales, canchas deportivas y similares una dotación de 1 l/hab.d.
- Para áreas verdes se estima una dotación de 2 l/d por cada m².

2.2.3.2.2 Variaciones de consumo. De acuerdo a lo establecido en la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para sistemas de Saneamiento en el ámbito Rural (2018), se tiene:

a) Caudal promedio diario anual

Se calcula de la siguiente manera:

$$Qp = \frac{Dot * Pd}{86400}$$

Dónde:

Qp: Caudal promedio diario anual (l/s)

Dot: Dotación (l/hab.d)

Pd: Población de diseño (hab)

b) Caudal máximo diario

Se debe tomar 1.3 veces el valor del caudal promedio anual:

$$Qmd = 1.3 * Qp$$

Dónde:

Qmd: Caudal máximo diario (l/s)

Qp: Caudal promedio diario anual (l/s)

c) Caudal máximo horario

Se debe tomar 2 veces el valor del caudal promedio anual:

$$Qmh = 2.0 * Qp$$

Dónde:

Qmh: Caudal máximo horario (l/s)

Qp: Caudal promedio diario anual (l/s)

2.2.4 Criterios de diseño

Para realizar el diseño de los diferentes componentes de un sistema de abastecimiento, se debe tener en cuenta algunos criterios mínimos y máximos que garanticen que se cubran las necesidades de la población además que el servicio que se brinde sea seguro, de calidad y tenga un buen funcionamiento.

La Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para sistemas de Saneamiento en el ámbito Rural (2018) establece dichos límites para los siguientes parámetros:

2.2.4.1 Diámetros de tuberías. Se tiene:

- Línea de aducción: se establece un diámetro mínimo de 25 mm (1").
- Redes de distribución: para las tuberías principales el diámetro mínimo permisible es de 25 mm (1"), mientras que en ramales se puede utilizar tuberías hasta de 20 mm (3/4").

2.2.4.2 Velocidades permisibles. Se tiene:

- Línea de conducción: se aceptan velocidades entre 0.6 y 3 m/s, pudiéndose aceptar hasta 5 m/s si se realiza la justificación correspondiente.
- Línea de impulsión: se recomienda velocidades entre 0.6 y 2.0 m/s.
- Línea de aducción: el rango de velocidades límites está entre 0.6 y 3.0 m/s, en excepción de casos debidamente justificados.
- Redes de distribución: la velocidad que circula por las tuberías no puede superar los 3 m/s, y se recomienda velocidades no menores a 0.30 m/s. Sin embargo, según Magne (2008), se pueden presentar velocidades menores para poblaciones pequeñas en los ramales secundarios.

2.2.4.3 Presiones permisibles. Se tiene:

- Línea de aducción: la carga estática debe estar entre 1 y 50 m.c.a.
- Redes de distribución: las presiones de servicio en cualquier punto de las redes de distribución deben estar en el rango entre 5 y 60 m.c.a.

2.2.5 Software WaterCAD

Para el desarrollo de la presente tesis se ha optado por el uso del software WaterCAD como herramienta que facilite los cálculos y diseño de los sistemas de abastecimiento de agua.

WaterCAD es utilizado por diversas empresas de ingeniería, municipios y empresas de servicios públicos, debido a su facilidad de uso y su versatilidad que ayuda a la toma de decisiones hidráulicas y ahorro de recursos, lo que significa una gran ventaja para el desarrollo de sistemas de calidad y distribución de agua (Bentley Advancing Infrastructure, 2017).

Una de las grandes ventajas que ofrece este software es la posibilidad de realizar el modelamiento desde otras aplicaciones como AutoCAD para su posterior integración gracias a su interoperabilidad entre diversas plataformas. WaterCAD brinda también la opción de utilizar varias herramientas para modelado, permite el uso de diferentes fondos de dibujo, además de herramientas de conversión desde los formatos CAD y GIS, lo que hace posible trabajar con la plataforma que brinde más comodidad al usuario (Bentley Advancing Infrastructure, 2017).

Otro punto a destacar es la existencia de los módulos geoespaciales LoadBuilder y TRex, que aceleran el proceso de modelamiento debido a que permiten la asignación de las cotas de todos los nodos, así como su demanda de agua a partir de diferentes formatos, lo que aumenta la precisión y reduce la posibilidad de errores (Bentley Advancing Infrastructure, 2017).

2.3 Plantas de tratamiento de agua potable

De acuerdo al sistema de abastecimiento establecido para el proyecto, se determina si es necesaria la implementación de una planta de tratamiento de agua potable, mayormente en casos en los que las fuentes de captación son superficiales.

Según Ordinola (2019), una planta de tratamiento de agua potable es necesaria para la realización de dos procesos que garanticen la calidad del agua a ser utilizada. La clarificación del agua es la primera etapa y se encarga de mejorar la calidad química y física del agua, mientras que la desinfección es el segundo, cuya finalidad es la remoción de organismos que puedan causar enfermedades debido a su consumo.

La Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para sistemas de Saneamiento en el ámbito Rural (2018) indica que para la selección de las unidades que conformarán la PTAP para sistemas de abastecimiento de agua en centros poblados rurales, se debe considerar las características de agua captada conforme a la Tabla 8.

Tabla 8. Criterios de selección de unidades para el proceso de tratamiento del agua para consumo humano

Alternativas	80% del tiempo	Esporádicamente
Filtro lento (F.L) solamente	To \leq 20 UT Co \leq 40 UC	ToMax \leq 100 UT
F.L + prefiltro de grava (P.G)	To \leq 60 UT Co \leq 40 UC	ToMax \leq 150 UT
F.L + P.G + sedimentador (S)	To \leq 200 UT Co \leq 40 UC	ToMax \leq 500 UT
F.L + P.G + S + presedimentador	To \leq 200 UT Co \leq 40 UC	ToMax \leq 1000 UT

Nota. Adaptado de Norma técnica de diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018)

Dónde:

To: turbiedad del agua cruda

Co: color del agua cruda

ToMax: turbiedad máxima del agua cruda

Adicional a las unidades que se seleccionen, se debe considerar la implementación de lechos de secado de lodos y un cerco perimétrico, También se puede añadir un desarenador si así se requiere.

2.3.1 Unidades de una planta de tratamiento

La Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para sistemas de Saneamiento en el ámbito Rural (2018) define las siguientes unidades:

2.3.1.1 Desarenador. Se utiliza para evitar que la arena en exceso se sobrecargue en los siguientes procesos. Esta unidad se diseña para retener la arena y partículas gruesas en suspensión que puede presentar el agua a tratar, generalmente con diámetros mayores a los 0.2 mm.

2.3.1.2 Sedimentador. Se opta por complementar el proceso de tratamiento con esta unidad cuando se verifica su eficacia para reducir la turbidez provocada por sólidos suspendidos. Un sedimentador es capaz de retener partículas gruesas en suspensión y arena comprendida entre los 0.2 mm y los 0.05 mm.

2.3.1.3 Aireación. Procedimiento utilizado para diversos fines como: aumento del oxígeno disuelto (OD), remoción de gases como amoníaco, cloro y metano, reducción de la concentración de H_2S y CO_2 , además de evitar la presencia de sustancias volátiles que provocan sabores y olores; todo esto gracias al contacto íntimo al que se expone al agua junto con el aire.

2.3.1.4 Prefiltro de grava. Como su nombre lo indica son procesos que se realizan antes de la filtración por arena. Es útil para reducir la cantidad de material en suspensión presente en el agua.

De acuerdo al nivel de turbidez en que se encuentra el agua, el prefiltro puede utilizarse para dos fines:

- Cuando el agua es relativamente clara, el prefiltro puede considerarse como el único tratamiento físico y biológico necesario. Para estos casos la velocidad de operatividad disminuye.
- Cuando el nivel de turbidez es elevado, el prefiltro se utiliza para la eliminación de elementos físicos. Para estos casos la velocidad de operatividad aumenta.

2.3.1.5 Filtro lento de arena. Unidad principal que replica el proceso de tratamiento por el que pasa el agua de lluvia en la naturaleza al atravesar las distintas capas de la corteza hasta llegar a los ríos subterráneos o acuíferos. Este proceso es el más efectivo y más utilizado por el hombre a través de la historia.

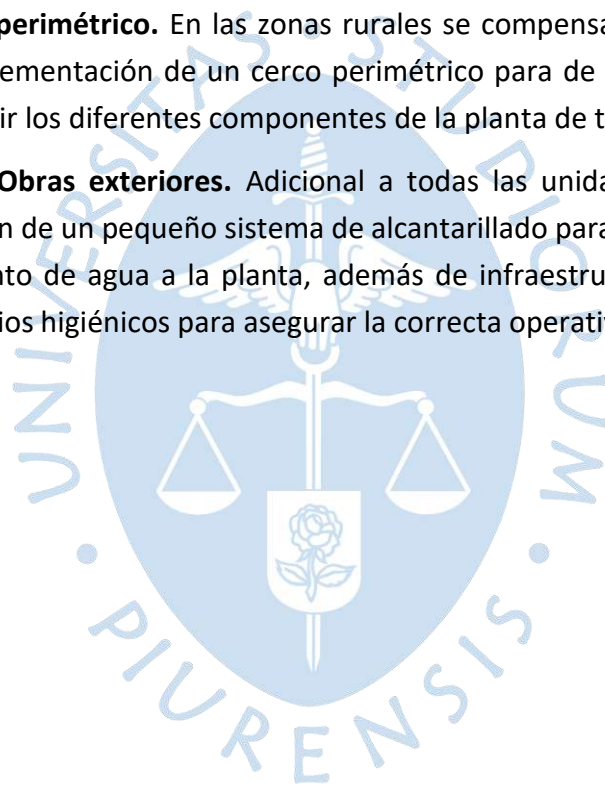
2.3.1.6 Lecho de secado. Unidad que sirve para retirar los elementos sólidos de los líquidos presentes en los lodos producidos por las diferentes unidades que conforman el proceso de tratamiento. Esto para poder dirigir el líquido obtenido a un sistema de alcantarillado o un cuerpo de agua cercano, mientras que los sólidos suelen reutilizarse para su aprovechamiento en el sector agrícola.

2.3.1.7 Sistema de desinfección. Suele ser el último tratamiento que se le aplica al agua antes de su almacenamiento. Se debe realizar la desinfección para destruir los organismos patógenos que se encuentran presentes en el agua y que no ha sido removidos en las unidades anteriores. Para estos sistemas se suele emplear el cloro como desinfectante debido a su fácil manejo, seguridad y bajo precio.

2.3.1.8 Cisterna. Necesaria cuando se requiera impulsar el agua de la PTAP hacia terrenos con cotas mayores, ya que aquí se almacenará el agua que ha pasado por todo el proceso de tratamiento, para su posterior traslado hacia los reservorios de almacenamiento de los sistemas de agua. Esta debe estar conformada por un ambiente donde se acumule el volumen útil de agua y otro que albergará los elementos necesarios para el sistema de bombeo.

2.3.1.9 Cerco perimétrico. En las zonas rurales se compensa la falta de sistemas de seguridad con la implementación de un cerco perimétrico para de esta manera prevenir el daño que puedan sufrir los diferentes componentes de la planta de tratamiento.

2.3.1.10 Obras exteriores. Adicional a todas las unidades de tratamiento, es necesaria la instalación de un pequeño sistema de alcantarillado para el traslado de lodos, así como el abastecimiento de agua a la planta, además de infraestructuras complementarias como oficinas y servicios higiénicos para asegurar la correcta operatividad y funcionamiento.



Capítulo 3

Diseño de las redes de distribución de agua potable

3.1 Cálculo de parámetros de diseño de las redes de abastecimiento

Por condiciones del proyecto, se considerarán dos sistemas de redes de distribución de agua potable. Para la definición del agrupamiento de estos sistemas se ha considerado la cercanía y topografía de los tres centros poblados. De esta manera, se cree conveniente trabajar el caserío de Carrizalillo por separado en el sistema 1, mientras que el sistema 2 estaría conformado por los centros poblados de San Pedro y Cerro de Leones, como se observa en la Figura 17 y en la Tabla 9.

Figura 17. Distribución de los centros poblados por sistemas

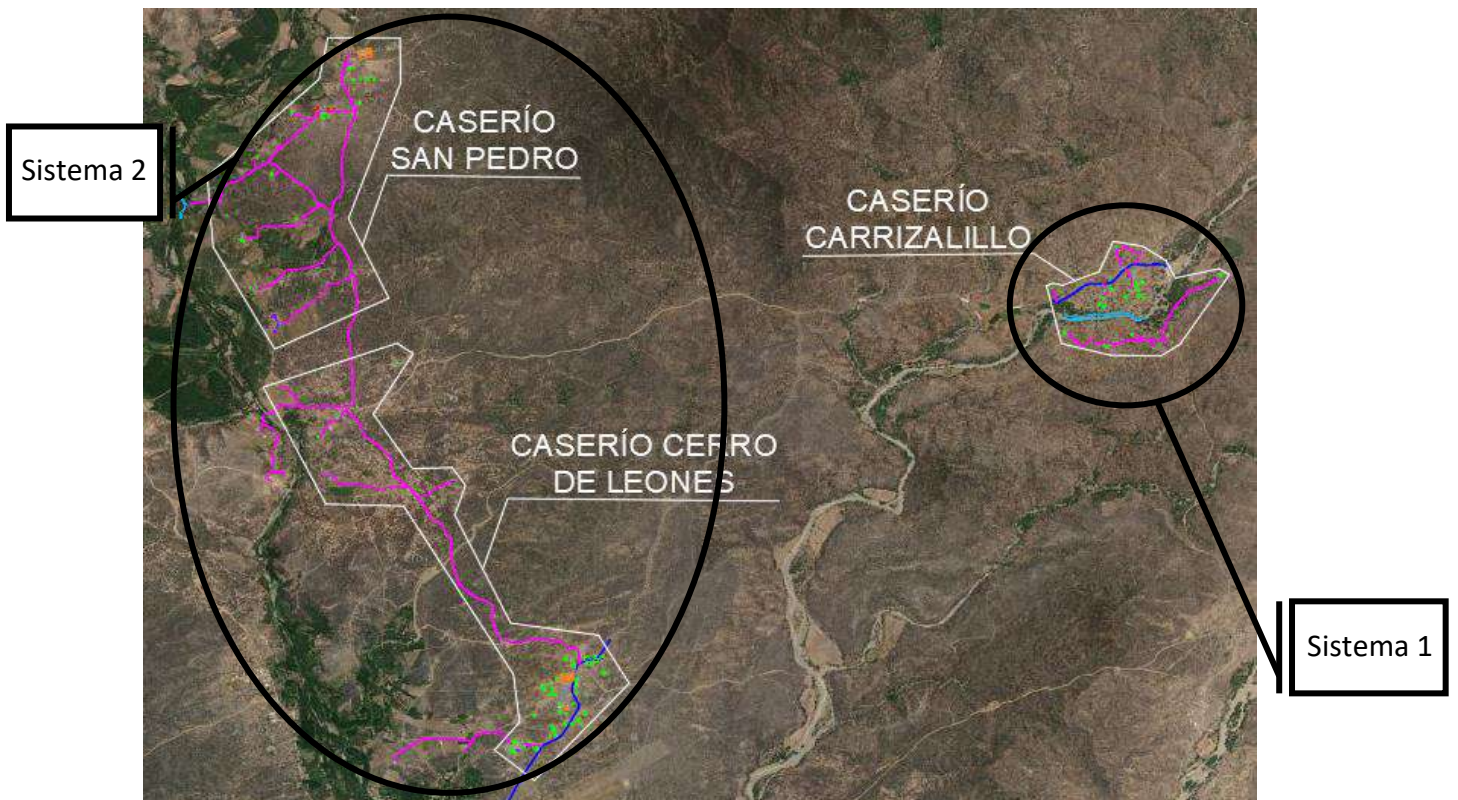


Tabla 9. Centros poblados por sistema

Centros poblados	
Sistema 1	Sistema 2
Carrizalillo	San Pedro/Cerro de Leones

3.1.1 Cálculo de la población futura y dotación de agua

3.1.1.1 Población actual. Debido a que no se cuenta con registros exactos de la población actual, para determinar la cantidad de personas que habitan en cada uno de los centros poblados involucrados en el proyecto, se tomó la información del padrón de beneficiarios obtenido del empadronamiento realizado en campo por el equipo consultor del proyecto el día 20 de mayo del 2021 en compañía de las autoridades y miembros de las JASS de cada localidad (v. Figuras 18 y 19).

Figura 18. Taller informativo para los miembros de las localidades



Figura 19. Toma de datos a los pobladores



El padrón de beneficiarios (Apéndice A) se realizó siguiendo el Formato 03 de los “Lineamientos de Intervención Social en Proyectos de Saneamiento formulados y Ejecutados por el PRONASAR en el marco del Invierte.pe”.

La información obtenida del padrón de beneficiarios fue procesada y los resultados pueden visualizarse en la Tabla 1.

3.1.1.1.1 Sistema 1. Para este sistema se tiene un total de 128 habitantes distribuidos en 38 viviendas en el centro poblado de Carrizalillo, de esta manera la densidad poblacional asciende a 3.37 hab/viv.

3.1.1.1.2 Sistema 2. Para este sistema se tiene un total de 355 habitantes distribuidos en 107 viviendas en los centros poblados de San Pedro y Cerro de Leones, de esta manera la densidad poblacional asciende a 3.32 hab/viv.

3.1.1.2 Cálculo de la población de diseño. Debido a la falta de datos estadísticos de los centros poblados involucrados, se tomará la información registrada en los censos de los años 2007 y 2017 por el INEI respecto al distrito de Tambogrande para la obtención de la tasa de crecimiento que se utilizará para el cálculo de la población de diseño de los sistemas. Estos datos se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Población distrito de Tambogrande años 2007 y 2017

Población distrito Tambogrande			
Año	Mujeres	Hombres	Total
2007	46647	49804	96451
2017	52691	54804	107495

Nota. Adaptado de INEI (2007) e INEI (2017)

De esta manera, utilizando el método aritmético y reemplazando los datos del año 2007 como la población inicial y los datos del año 2017 como la población final, se obtiene una tasa de crecimiento anual igual a 1.15%.

De esta forma, se obtienen los parámetros necesarios para proceder con el cálculo de las poblaciones futuras para ambos sistemas, lo cual se muestra a modo de resumen en la Tabla 11.

Tabla 11. Parámetros para el cálculo de población futura

Sistema	Sistema 1	Sistema 2
Tasa de crecimiento (r)	0.0115	0.0115
Período de diseño	20	20
Población inicial	128	355

Finalmente, para el cálculo de las poblaciones futuras se hace uso nuevamente del método aritmético y los datos de la Tabla 11, obteniendo:

Tabla 12. Población futura sistema 1

Año	Total
2021	P ₀ =128
2022	P=129
2023	P=130
2024	P=132
2025	P=133
2026	P=135
2027	P=136
2028	P=138
2029	P=139
2030	P=141
2031	P=142
2032	P=144
2033	P=145
2034	P=147
2035	P=148
2036	P=150
2037	P=151
2038	P=153
2039	P=154
2040	P=155
2041	P=157

Tabla 13. Población futura sistema 2

Año	Total
2021	P ₀ =355
2022	P=359
2023	P=363
2024	P=367
2025	P=371
2026	P=375
2027	P=379
2028	P=383
2029	P=387
2030	P=391
2031	P=395
2032	P=399
2033	P=403
2034	P=408
2035	P=412
2036	P=416
2037	P=420
2038	P=424
2039	P=428
2040	P=432
2041	P=436

3.1.1.2.1 Sistema 1. Como se puede observar en la Tabla 12, para el año 2041, el sistema 1 deberá cubrir las necesidades de agua de 157 pobladores.

3.1.1.2.2 Sistema 2. Para este caso, se tendrá un total de 436 habitantes (v. Tabla 13), de los centros poblados que lo integran, para el año 2041.

3.1.1.3 Cálculo del caudal promedio, caudal máximo diario y caudal máximo horario. Para el cálculo de los caudales a emplear en el diseño, se tendrá en consideración los lineamientos establecidos en los apartados 2.2.3.2.1 y 2.2.3.2.2.

El gasto detallado por punto de cada sistema se puede observar en el Apéndice B.

A continuación, se adjunta los resultados obtenidos a modo resumen en las Tablas 14, 15, 16 y 17.

3.1.1.3.1 Sistema 1

Tabla 14. Caudales del sistema 1

Sistema 1	
Qp (l/s)	0.112
Qmd (l/s)	0.145
Qmh (l/s)	0.224

Tabla 15. Distribución caudal máximo horario del sistema 1

Sistema 1	
Qm población	0.218
Qm instituciones sociales	0.006
Qm instituciones educativas	0.000

3.1.1.3.2 Sistema 2**Tabla 16. Caudales del sistema 2**

Sistema 2	
Qp (l/s)	0.361
Qmd (l/s)	0.469
Qmh (l/s)	0.722

Tabla 17. Distribución caudal máximo horario del sistema 2

Sistema 2	
Qm población	0.606
Qm instituciones sociales	0.089
Qm instituciones educativas	0.027

3.1.2 Consideraciones para el diseño

Para el diseño hidráulico de los dos sistemas se ha realizado un modelo considerando un estado dinámico, haciendo uso de la ecuación de Hazen y Williams y de un coeficiente de fricción $C=150$ para tuberías de Policloruro de Vinilo (PVC), material que se considerará para las tuberías a instalar.

Además, se debe tener en cuenta los diferentes diámetros nominales a utilizar para todos los tramos de tubería y la longitud de cada una de éstas según lo establecido en la Tabla 18.

Tabla 18. Especificaciones técnicas tuberías para agua fría a presión NTP 399.002:2015

Diámetro exterior		Longitud		Clase 5 - 72 PSI (5 bar)		Clase 7.5 - 108 PSI (7.5 bar)		Clase 10 - 145 PSI (10 bar)		Clase 15 - 215 PSI (15 bar)	
Nominal	Real	Total	Útil	Espesor	Peso	Espesor	Peso	Espesor	Peso	Espesor	Peso
Pulg	mm	m	m	mm	kg/tubo	mm	kg/tubo	mm	kg/tubo	mm	kg/tubo
1/2"	21.0	5.00	4.97	-	-	-	-	1.8	0.841	1.8	0.841
3/4"	26.5	5.00	4.96	-	-	-	-	1.8	1.082	1.8	1.082
1"	33.0	5.00	4.96	-	-	-	-	1.8	1.365	2.3	1.717
1 1/4"	42.0	5.00	4.96	-	-	1.8	1.758	2.0	1.943	2.9	2.755
1 1/2"	48.0	5.00	4.96	-	-	1.8	2.020	2.3	2.554	3.3	3.584
2"	60.0	5.00	4.95	1.8	2.544	2.2	3.088	2.9	4.021	4.2	5.692

Diámetro exterior		Longitud		Clase 5 - 72 PSI (5 bar)		Clase 7.5 - 108 PSI (7.5 bar)		Clase 10 - 145 PSI (10 bar)		Clase 15 - 215 PSI (15 bar)	
Nominal	Real	Total	Útil	Espesor	Peso	Espesor	Peso	Espesor	Peso	Espesor	Peso
Pulg	mm	m	m	mm	kg/tubo	mm	kg/tubo	mm	kg/tubo	mm	kg/tubo
2 1/2"	73.0	5.00	4.94	1.8	3.111	2.6	4.444	3.5	5.905	5.1	8.407
3"	88.5	5.00	4.93	2.2	4.608	3.2	6.625	4.2	8.593	6.2	12.385
4"	114.0	5.00	4.90	2.8	7.562	4.1	10.944	5.4	14.244	8	20.597
6"	168.0	5.00	4.86	4.1	16.326	6.1	23.995	8.0	31.099	11.7	44.432
8"	219.0	5.00	4.82	5.3	27.519	-	-	-	-	-	-

Nota. Adaptado de Tuberías y conexiones de PVC-U (Pavco , 2020)

De igual manera, es importante considerar la elevación del terreno en aquellos lugares donde se van a situar los nodos, reservorios, conexiones domiciliarias y cámaras rompe presión de ser el caso.

Otros tipos de aparatos como válvulas de aire, purga y de control no se han tomado en cuenta debido a su poca incidencia en el modelamiento hidráulico.

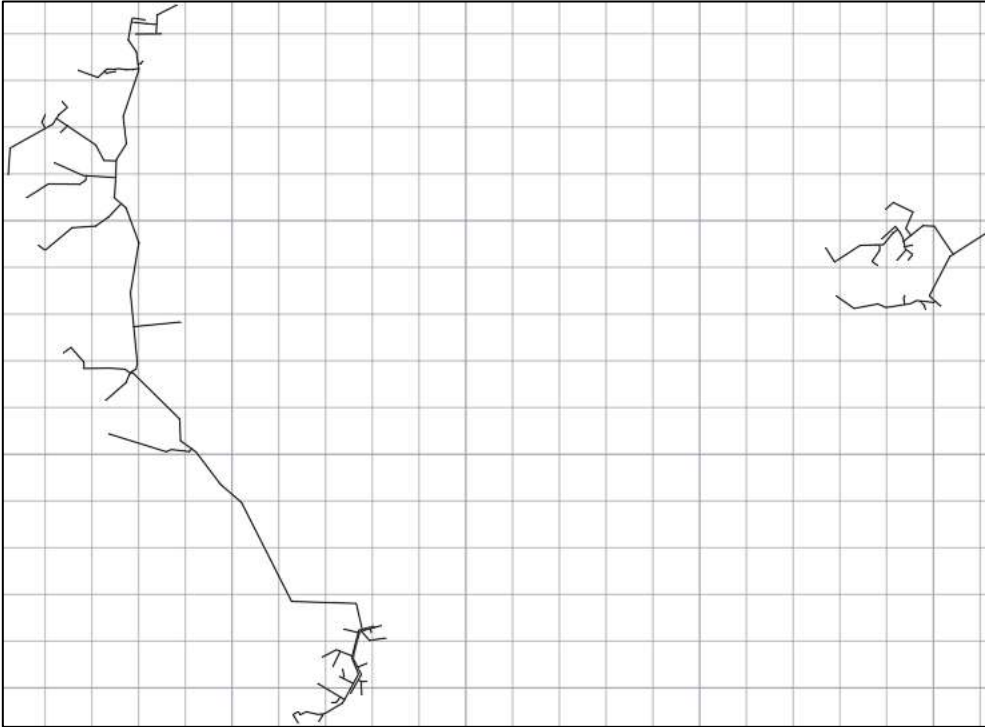
Por último, es necesario cumplir con las restricciones establecidas en el apartado 2.2.4 para la aceptación del modelo.

3.2 Modelamiento de las redes de distribución con el software WaterCAD

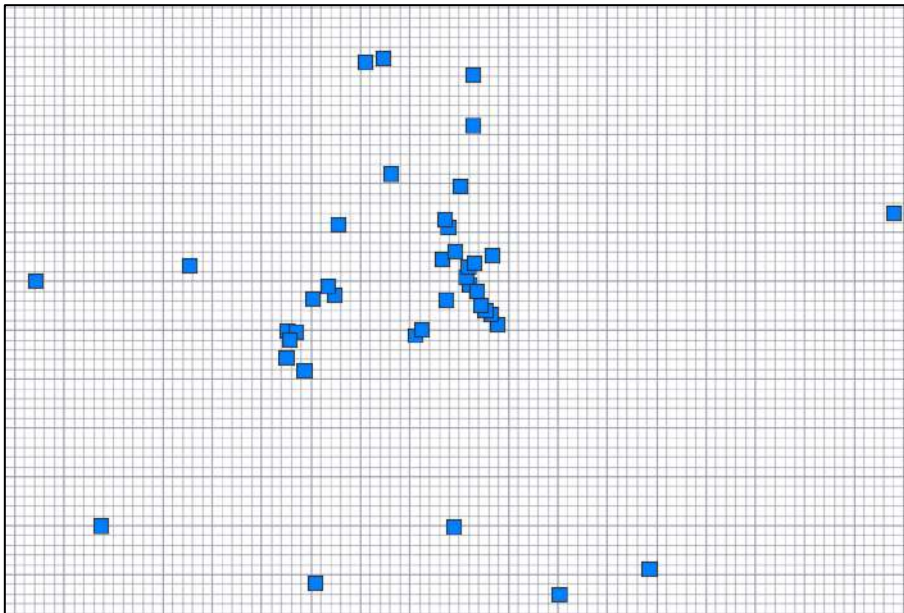
3.2.1 Proceso de realización del modelo

A continuación, se describirá paso a paso el procedimiento realizado para la elaboración de los modelos hidráulicos de las redes de agua potable de los sistemas que abastecerán a los tres centros poblados. Cabe señalar que los sistemas se modelarán por separado, realizando el mismo proceso, por lo que se explicará de manera general.

1. Previo al modelamiento en WaterCAD se debe contar con algunos archivos necesarios que contienen la información de los elementos que influirán a lo largo del proceso. De esta manera, se debe tener lo siguiente:
 - Plano de tuberías en formato DXF: en el que se incluirán aquellas tuberías proyectadas a partir del plano de lotización, sobre el cual se debe trazar el camino que debe recorrer el agua hasta llegar a cada vivienda. Este archivo contendrá las redes de ambos sistemas, los cuales se distinguirán por la capa utilizada para cada uno, tal como se observa en la Figura 20, donde las líneas de color negro representan las tuberías proyectadas.

Figura 20. Plano de tuberías de los sistemas

- Plano de conexiones domiciliarias en formato DXF: aquí se debe tener a manera de puntos todas las conexiones de los diferentes lotes de los centros poblados, como en la Figura 21, donde los puntos azules representan las conexiones domiciliarias. Se recomienda guardar en un archivo distinto las conexiones de cada sistema.

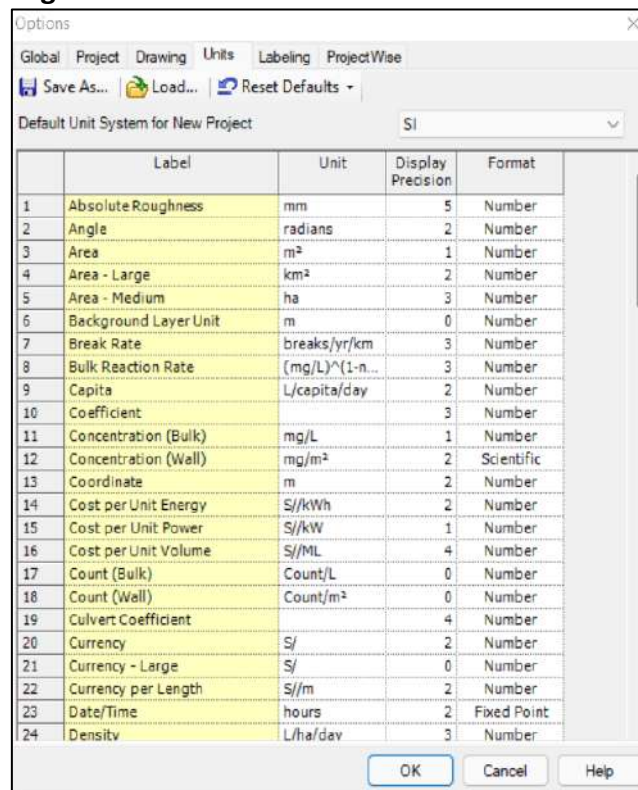
Figura 21. Plano de conexiones domiciliarias del sistema 1

- Plano de topografía en formato LandXML: es indispensable poder contar con la topografía en un formato que pueda ser importado a

WaterCAD para poder establecer la cota del terreno en la que se encuentran cada uno de los elementos del sistema.

- Una vez verificados los archivos necesarios, se procede a abrir el software WaterCAD y se selecciona la opción *Create New Project* para poder iniciar. Se despliega la pestaña *File* situada en la parte de la esquina superior izquierda de la interfaz del programa y se elige la opción *Project Properties*, donde se podrá colocar los datos correspondientes al proyecto como: título, ingeniero o en este caso autor del proyecto, fecha y compañía. También se debe establecer las unidades con las que se trabajará el modelamiento. Para esto se hace uso de la herramienta *Units* (v. Figura 22) ubicada en la sección *Options*, la cual a su vez se encuentra en la pestaña *Tools* y con la que se puede determinar el sistema de unidades a utilizar, como es en este caso el Sistema Internacional (SI), y si fuera necesario especificar para ciertos parámetros una unidad específica, como se definirá mH₂O para medir las presiones. De la misma manera se establecerá la cantidad de decimales que se crea conveniente para cada variable.

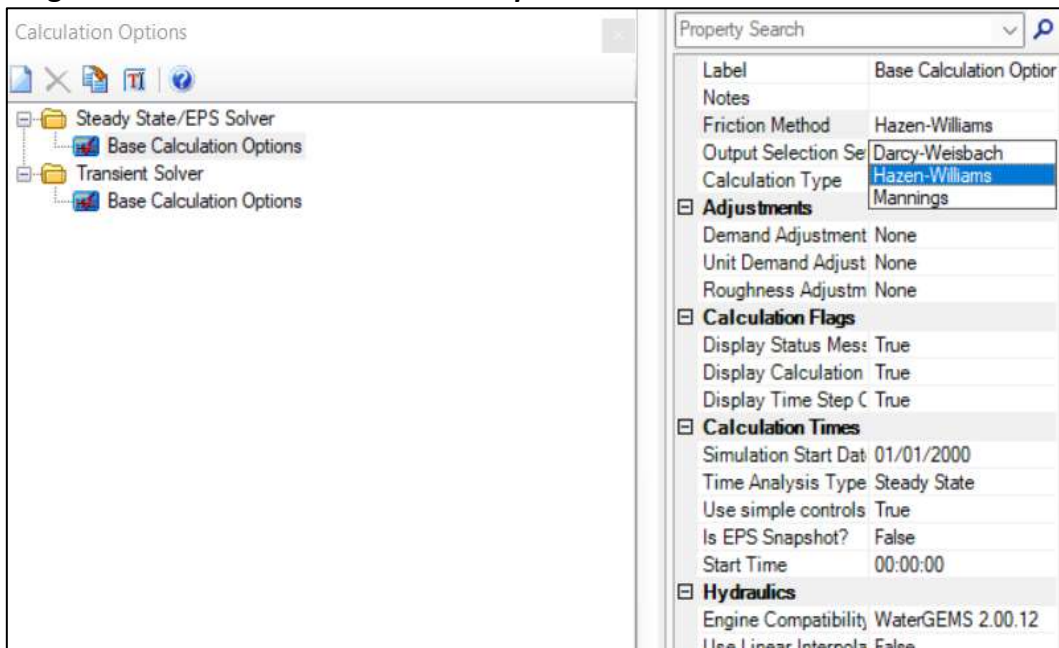
Figura 22. Herramienta *Units*



- Se debe verificar que el programa vaya a realizar los cálculos de pérdida de carga con la ecuación correcta. Para esto se ingresa a la pestaña *Analysis*, luego se selecciona la herramienta *Calculation Options* (v. Figura 23). Esto abrirá una

ventana donde se aprecian dos carpetas: *Steady State/EPS Solver* y *Transient Solver*.

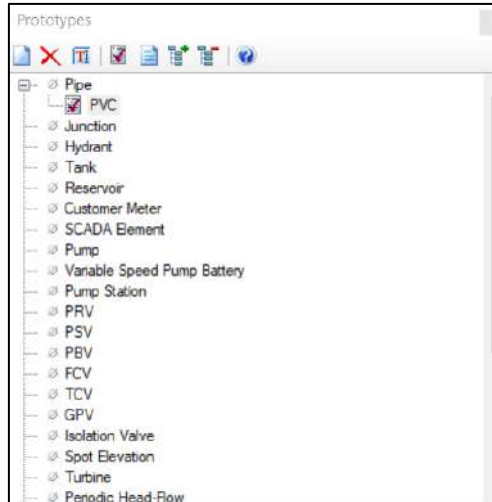
Figura 23. Herramienta *Calculation Options*



Para el presente proyecto se utilizará la primera opción, por lo tanto, se accede a la ventana de propiedades de esta de manera que permita establecer la ecuación de Hazen-Williams en el campo *Friction Method*. Otro de los campos que es importante verificar es el de *Liquid Label* en el que se especifica el fluido con el que se va a modelar. Por defecto, se encuentra fijado el agua a una temperatura de 20°C, que corresponde al fluido del proyecto.

También se debe considerar establecer prototipos de las tuberías previo a la importación de éstas al programa. Para crearlos se hace uso de la herramienta *Prototypes* (v. Figura 24) que se encuentra ubicada en la pestaña *View*. Aquí se selecciona *Pipe* y se añaden prototipos de acuerdo al tipo de material y diámetros de las tuberías. Como material se debe fijar el de PVC a través de la biblioteca de materiales para que de esta manera se asocie con su valor de coeficiente de fricción $C=150$. En este caso se estableció un diámetro estándar (el más bajo) para posteriormente asignar a cada tubería el diámetro que corresponda según la Tabla 18 para cumplir con los requerimientos del modelo.

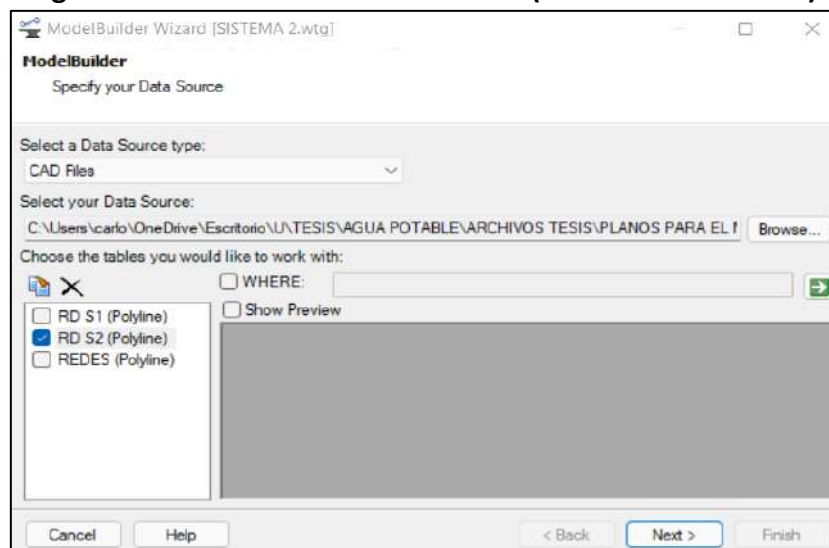
Figura 24. Herramienta *Prototypes*



4. Con los prototipos y unidades establecidas se procede a realizar la importación de las tuberías que conformarán el sistema.

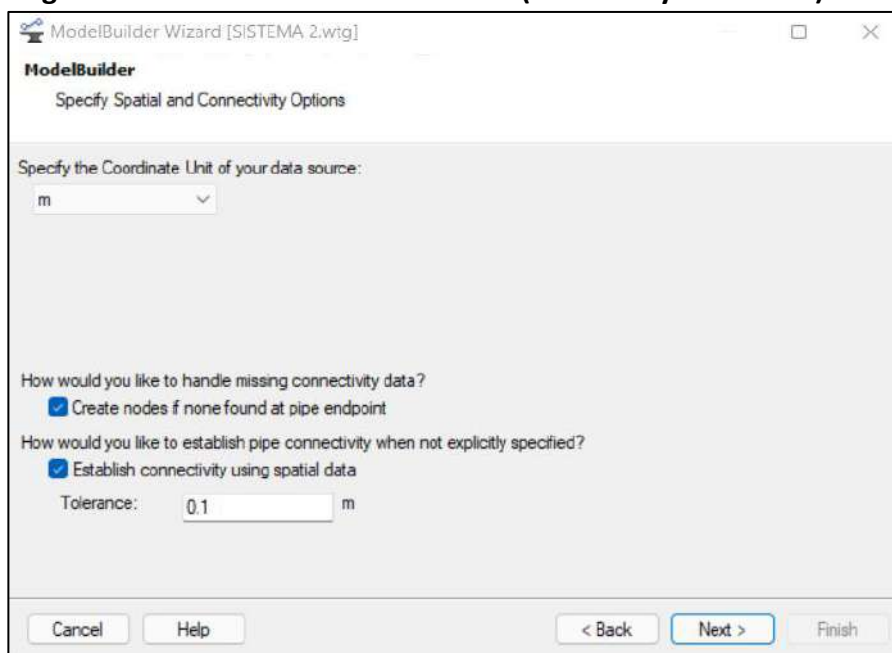
La importación se hace a través de la herramienta *ModelBuilder*, la cual se localiza en la pestaña *Tools*. Dentro de esta se selecciona un nuevo modelo lo que nos llevará a la ventana *ModelBuilder Wizard* (v. Figura 25), donde se debe escoger el tipo de archivo a importar (CAD files en este caso debido al formato DXF) y se indica la ruta en la que se encuentra el plano. Además, se debe escoger la capa en la que se ha almacenado las redes para de esta manera importar solo lo necesario y no se generen errores. En el plano de tuberías se han agrupado ambos sistemas, cada uno con una capa distintiva, por lo que dependiendo del sistema que se vaya a modelar se elige la capa correspondiente (RD S1 para el sistema 1 y RD S2 para el sistema 2).

Figura 25. Herramienta *ModelBuilder* (selección de archivo)



En la siguiente ventana se debe indicar las unidades para la base de datos que se importará al modelo, por lo que se establece como unidad el metro y también se debe escribir un valor de tolerancia que será de 0.1m, como se observa en la Figura 26. Este valor permite al programa resolver algún tipo de error de dibujo que se haya generado en la etapa de trazado del plano.

Figura 26. Herramienta *ModelBuilder* (unidades y tolerancia)



Las siguientes ventanas corresponden a especificaciones para creación del modelo y especificaciones adicionales, las cuales se mantendrán en las opciones por defecto.

Posterior a esto, se establecen algunos detalles en cuanto al modelado, como el tipo de elemento a generar (tuberías) en el campo *Table Type*, donde se selecciona la opción *Pipe* y además en el campo *Key Fields* se escoge la alternativa *<label>* (v. Figura 27).

Para finalizar la importación, el software preguntará si se desea realizar la sincronización de dibujo en el momento, a lo que se selecciona la opción *Yes* y posteriormente *Finish*. Con esto el programa generará automáticamente las tuberías que conformaran las redes de agua potable tal como se observa en la Figura 28.

Figura 27. Herramienta *ModelBuilder* (selección tipo de elemento)

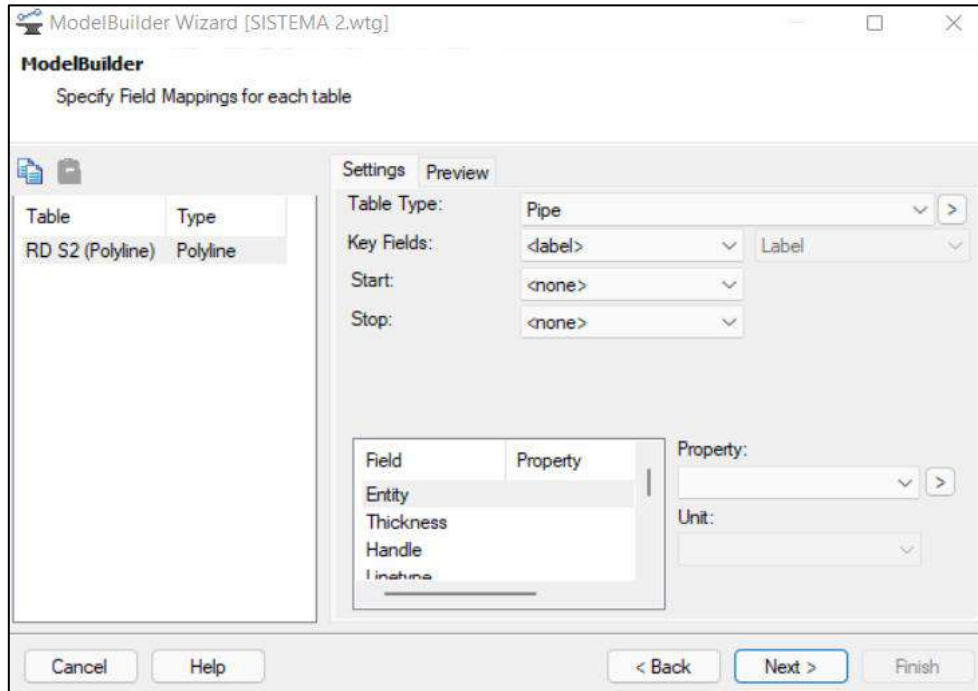
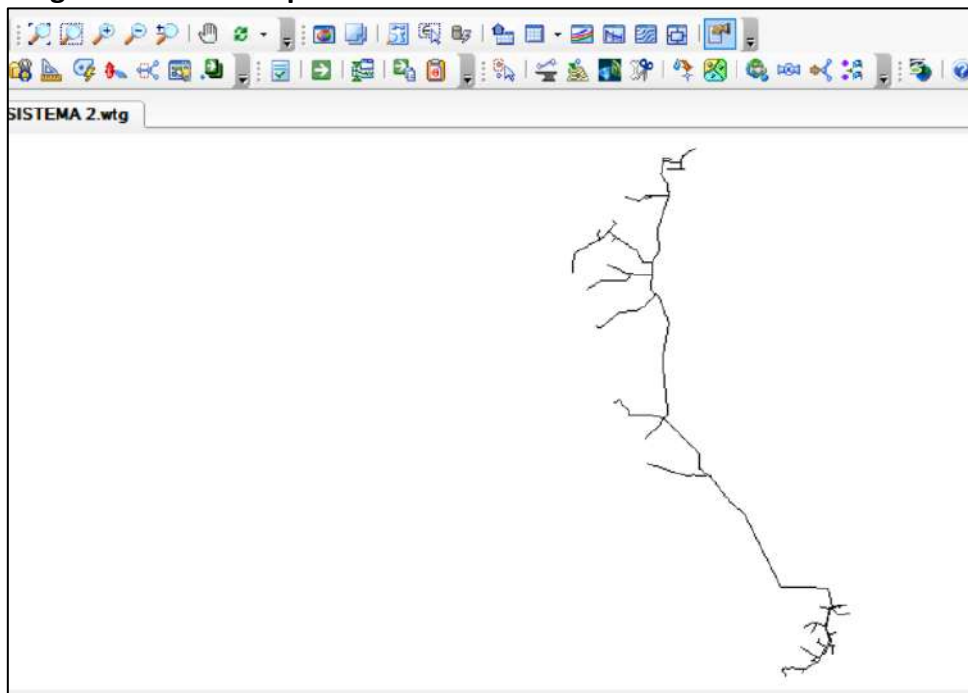


Figura 28. Redes importadas

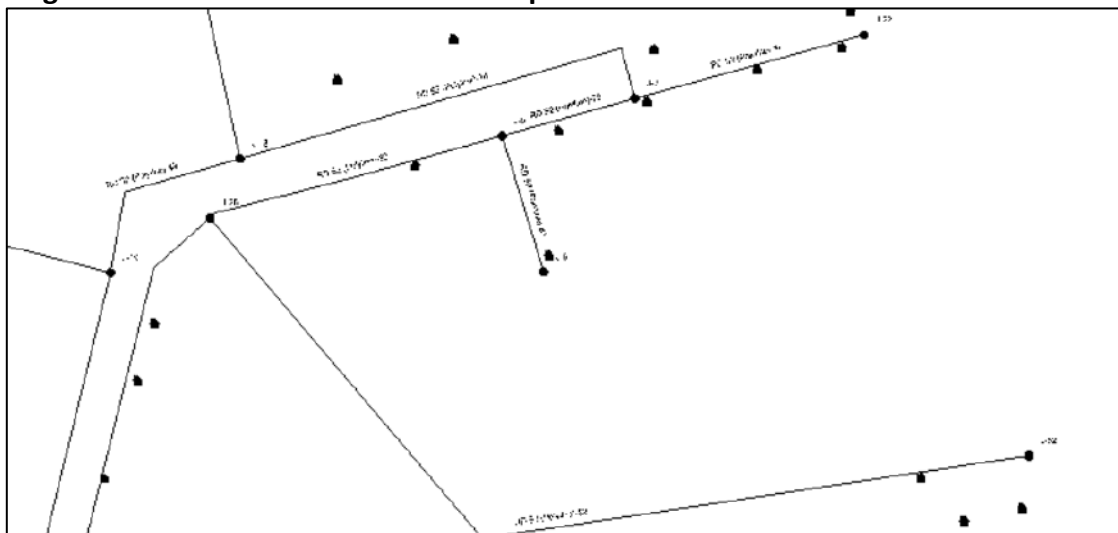


Cabe resaltar que al formarse las tuberías por defecto también se generan los nodos que conformarán el sistema. WaterCAD crea su propia nomenclatura para los elementos, la cual se modificará más adelante para un mejor control.

5. Siguiendo el mismo procedimiento que con las tuberías, se realiza la importación de las conexiones domiciliarias a partir del plano donde se encuentran las mismas. Para este proceso se debe seleccionar la capa que contiene los puntos que simulan la localización de las conexiones.

Se debe tener cuidado al momento de definir el tipo de elemento que se generará al importar. En esta ocasión se debe elegir *Customer Meter* en el campo *Table Type* para obtener el resultado mostrado en la Figura 29.

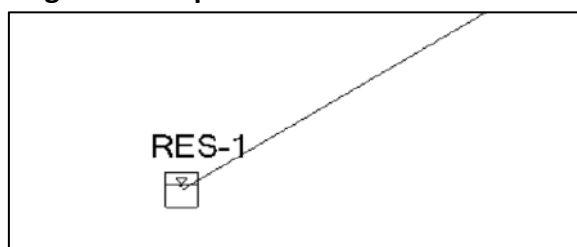
Figura 29. Conexiones domiciliarias importadas



6. El último elemento a incorporar en el sistema es aquel que se encargará del abastecimiento de las redes.

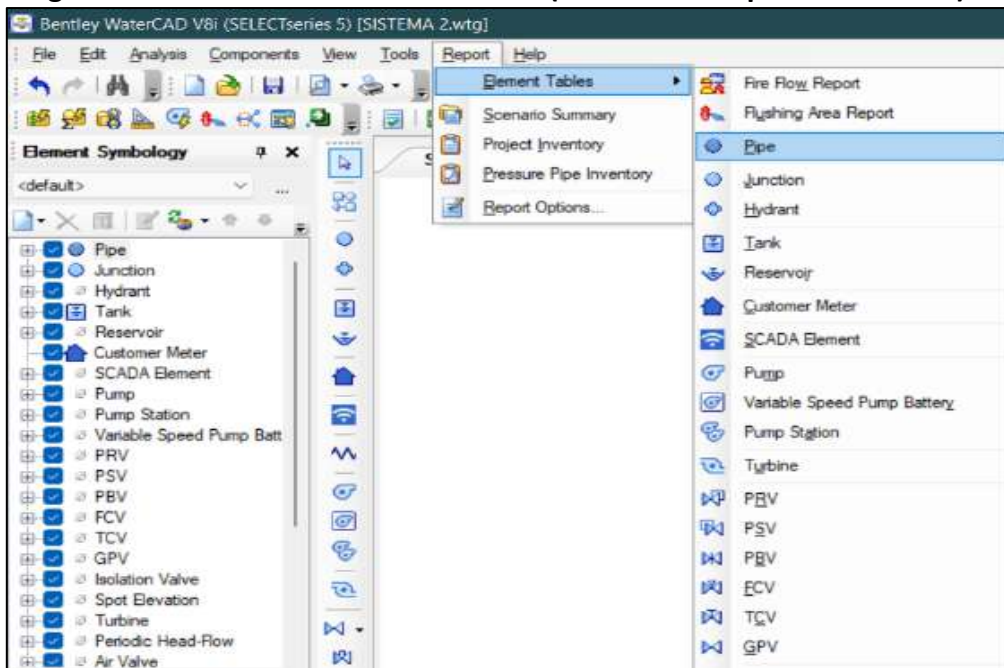
Para añadir un tanque o reservorio se debe escoger la opción *Tank* ubicada dentro de las herramientas de dibujo, y se debe seleccionar aquel nodo que será reemplazado de acuerdo a la ubicación que ha sido establecida para el reservorio. El programa preguntará si se quiere realizar la transformación, a lo que se responde con la opción *Yes*. Por último, se puede modificar el nombre del tanque haciendo click izquierdo y cambiando el establecido en el campo *Label* en su ventana de propiedades, como se puede observar en la Figura 30.

Figura 30. Representación del reservorio



7. Para poder renombrar al resto de elementos se tiene que utilizar la herramienta *Element Tables* (v. Figura 31) localizada en la pestaña *Tools*. Dentro de esta herramienta se debe escoger el tipo de componente a modificar (tuberías, nodos o conexiones domiciliarias).

Figura 31. Herramienta *Element Tables* (selección de tipo de elemento)



Con la tabla generada, se debe hacer click derecho sobre el encabezado de la columna *Label*, lo que desplegará una pequeña ventana con múltiples opciones entre las que se encuentra la opción de *Relabel* (v. Figura 32).

Aquí se selecciona *Renumber*, lo que permitirá escoger un prefijo de acuerdo al elemento que se esté modificando y se puede fijar un valor para empezar con la enumeración.

Figura 32. Proceso para renombrar elementos

ID	Label	Length (Scaled)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Minor Loss Coefficient (Local)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/m)	Has User Defined Length?	Length (User Defined) (m)
60: RD S2 (P...	60 RD S2 (Polyli...			10	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0
45: RD S2 (P...	45 RD S2 (Polyli...			11	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0
48: RD S2 (P...	48 RD S2 (Polyli...			13	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0
54: RD S2 (P...	54 RD S2 (Polyli...			17	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0
75: RD S2 (P...	75 RD S2 (Polyli...			19	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0
66: RD S2 (P...	66 RD S2 (Polyli...			14	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0
69: RD S2 (P...	69 RD S2 (Polyli...			25	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0
78: RD S2 (P...	78 RD S2 (Polyline)-22		67 J-30	J-31	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0
81: RD S2 (P...	81 RD S2 (Polyline)-23		76 J-17	J-32	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0
83: RD S2 (P...	83 RD S2 (Polyline)-24		76 J-33	J-10	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0
85: RD S2 (P...	85 RD S2 (Polyline)-25		86 J-34	J-35	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0
104: RD S2 (...)	104 RD S2 (Polyline)-26		103 J-40	J-42	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0
146: RD S2 (...)	146 RD S2 (Polyline)-27		448 J-42	J-61	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0
91: RD S2 (P...	91 RD S2 (Polyline)-28		85 J-37	J-38	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0
96: RD S2 (P...	96 RD S2 (Polyline)-29		97 J-30	J-3	26.5	PVC	150.0	0.000	(N/A)	(N/A)	(N/A)	<input type="checkbox"/>	0

Se debe realizar este proceso para todos los componentes del sistema y de esta manera llevar un mejor orden en el modelado.

8. También se debe importar la topografía de la zona del proyecto, y de esta manera asignar elevaciones a los diferentes elementos importados.

Para esto, se debe acceder a la pestaña *Tools* y seleccionar la herramienta *TRex*. Esto abrirá la ventana *TRex Wizard*, donde se podrá elegir el tipo de archivo donde se encuentra almacenada la data topográfica. Como se mencionó anteriormente se escoge la opción *LandXML* y además se establece el metro como unidad de importación para las cotas. Con esto el software asignará automáticamente una elevación a cada componente del sistema, como se muestra en la Figura 33.

Figura 33. Herramienta TRex

The screenshot shows the 'TRex Wizard' window with the title 'Completing the TRex Wizard'. It features a table with two columns: 'Label' and 'Elevation (m)'. The table contains 10 rows of data, with the 'Label' column containing nodes from NODO-1 to NODO-10 and the 'Elevation (m)' column containing numerical values. Below the table, there are radio buttons for 'Use Existing Alternative' (selected) and 'New Alternative'. The 'Use Existing Alternative' section includes a dropdown menu set to 'Base Physical' and a 'Parent Alternative' dropdown set to '<None>'. At the bottom, there is a button labeled 'Export Results...' and a footer with 'Cancel', 'Help', '< Back', 'Next >', and 'Finish' buttons.

	Label	Elevation (m)
0	NODO-1	150.04
1	NODO-2	149.96
2	NODO-3	150.57
3	NODO-4	150.88
4	NODO-5	162.00
5	NODO-6	160.37
6	NODO-7	162.02
7	NODO-8	170.60
8	NODO-9	169.88
9	NODO-10	154.13

9. Si bien se han creado las conexiones domiciliarias que conformarán el sistema, es necesario establecer una conexión a los elementos más cercanos, para que el programa pueda más adelante asociar la demanda de cada lote a un nodo y se puedan realizar los cálculos correspondientes.

Esto se logra a través de la herramienta *LoadBuilder*, a la cual se llega a través de la pestaña *Tools*. Al acceder a esta, se debe seleccionar *New*, lo que permitirá escoger el método de creación de los vínculos. En este caso se seleccionará el método *Nearest Node* (v. Figura 34) dentro del campo *Internal Data*, esto permitirá

que cada conexión se asocie de manera automática con el nodo que se encuentre más cercano.

En la siguiente ventana se debe escoger en el campo de *Node Layer* la alternativa *Junction/All Elements* y de igual forma en el campo *Customer Meter Layer* se debe seleccionar *Customer Meter/All Elements*.

En la última ventana se debe asignar un nombre al procedimiento que se está realizando, y se escoge una alternativa para sobrescribir al momento de realizar el proceso. Debido a que existe una única alternativa (*Base Demand*) se escoge dicha opción y se finaliza para poder visualizar el resultado, tal como en la Figura 35.

Figura 34. Herramienta LoadBuilder (selección de método)

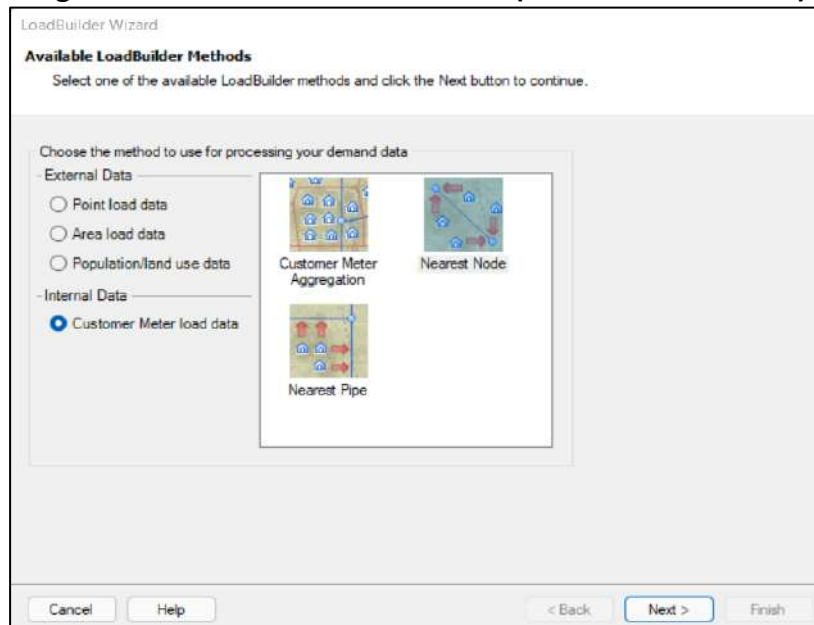
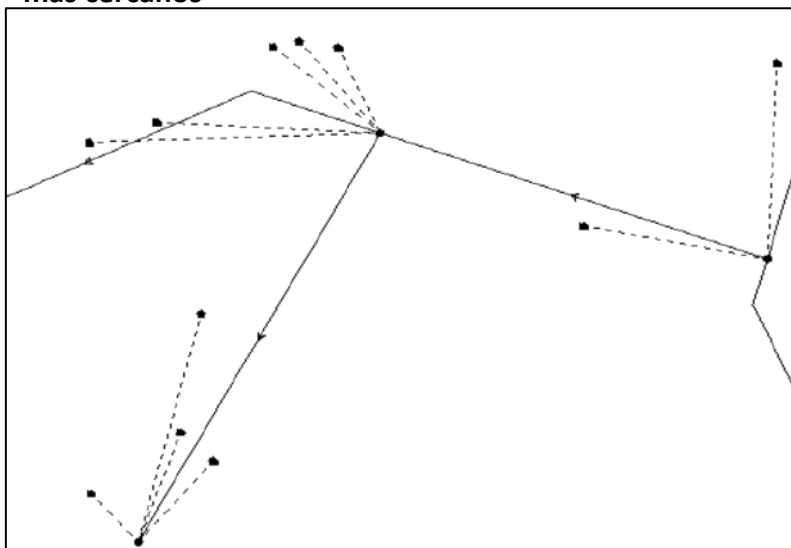


Figura 35. Conexiones domiciliarias asociadas con nodos más cercanos



Para asignar la demanda de consumo de agua de cada lote se hace uso de la herramienta *Elements Tables*, seleccionando la opción *Customer Meter*.

Una vez generada la tabla, se debe ingresar los valores obtenidos de demanda de acuerdo al sistema correspondiente.

Una forma rápida de asignar valores es haciendo click derecho sobre la columna *Demand* y acceder a la opción *Global Edit* donde se asignará un valor que será igual para todos los lotes y será el obtenido para las viviendas. Una vez realizado esto, se debe detectar cuidadosamente aquellos lotes que correspondan a instituciones sociales y educativas para cambiar la demanda global por la correcta y calculada para cada uno de estos en el campo *Demand (Base)* situado en su ventana de propiedades, como se indica en las Figuras 36 y 37.

Figura 36. Proceso de asignación de demanda en lotes

FlexTable: Customer Meter Table (SISTEMA 2.wtg)					
	ID	Label	Associated Element	Demand (L/s)	Pattern (Demand)
924: CD-1	924	CD-1	NODO-55	0.0057	Fixed
925: CD-2	925	CD-2	NODO-10	0.0057	Fixed
926: CD-3	926	CD-3	NODO-15	0.0057	Fixed
927: CD-4	927	CD-4	NODO-15	0.0057	Fixed
928: CD-5	928	CD-5	NODO-30	0.0057	Fixed
929: CD-6	929	CD-6	NODO-30	0.0057	Fixed
930: CD-7	930	CD-7	NODO-30	0.0057	Fixed
931: CD-8	931	CD-8	NODO-22	0.0057	Fixed
932: CD-9	932	CD-9	NODO-22	0.0057	Fixed
933: CD-10	933	CD-10	NODO-21	0.0057	Fixed
934: CD-11	934	CD-11	NODO-21	0.0057	Fixed
935: CD-12	935	CD-12	NODO-21	0.0057	Fixed
936: CD-13	936	CD-13	NODO-49	0.0057	Fixed
937: CD-14	937	CD-14	NODO-21	0.0057	Fixed
938: CD-15	938	CD-15	NODO-21	0.0057	Fixed
939: CD-16	939	CD-16	NODO-21	0.0057	Fixed
940: CD-17	940	CD-17	NODO-50	0.0057	Fixed
941: CD-18	941	CD-18	NODO-50	0.0057	Fixed
942: CD-19	942	CD-19	NODO-50	0.0057	Fixed
943: CD-20	943	CD-20	NODO-50	0.0057	Fixed
944: CD-21	944	CD-21	NODO-50	0.0057	Fixed
945: CD-22	945	CD-22	NODO-50	0.0057	Fixed
946: CD-23	946	CD-23	NODO-50	0.0057	Fixed
947: CD-24	947	CD-24	NODO-49	0.0057	Fixed
948: CD-25	948	CD-25	NODO-8	0.0057	Fixed
949: CD-26	949	CD-26	NODO-18	0.0057	Fixed
950: CD-27	950	CD-27	NODO-12	0.0057	Fixed
951: CD-28	951	CD-28	NODO-12	0.0057	Fixed

Figura 37. Corrección de demanda en instituciones sociales y educativas

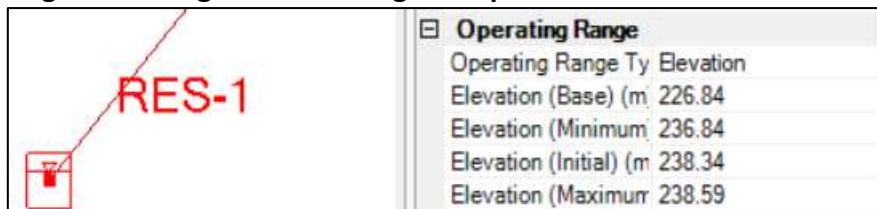
The screenshot shows a GIS application window. On the left, a map displays a network of lines with a red triangle and a black circle. On the right, a property window is open for a selected element. The window has a 'Property Search' field and several expandable sections:

- <General>**: ID: 1023, Label: CD-100, Notes, GIS-IDs: <Collection: 0 items>, Hyperlinks: <Collection: 0 items>
- <Geometry>**: X (m): 588,265.58, Y (m): 9,465,846.51
- Active Topology**: Is Active?: True
- Demand**: Demand (Base) (L/s): 0.0648, Pattern (Demand): Fixed
- Customer Meter Information**: Billing ID, Associated Element: NODO-34

10. Se debe asignar también, el rango de operación del reservorio que abastecerá las redes; de acuerdo a los datos de elevaciones del mismo.

Para esto, se hace click izquierdo sobre la representación del reservorio y se modifica los campos que componen la opción *Operating Range* (v. Figura 38), los cuales corresponden a datos ya establecidos de acuerdo a la información de topografía y dimensiones del reservorio.

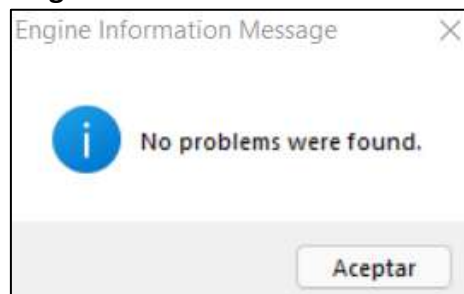
Figura 38. Asignación de rango de operación del reservorio



11. Con toda la información necesaria, se procede a validar el modelo para verificar la existencia de algún error, lo cual se hace mediante la herramienta *Validate* que se encuentra en la pestaña *Analysis*.

De no localizarse ningún error, el programa mostrará una ventana emergente indicando que no se ha encontrado ningún problema con lo que se puede proseguir con el modelo, como se observa en la Figura 39.

Figura 39. Herramienta *Validate*

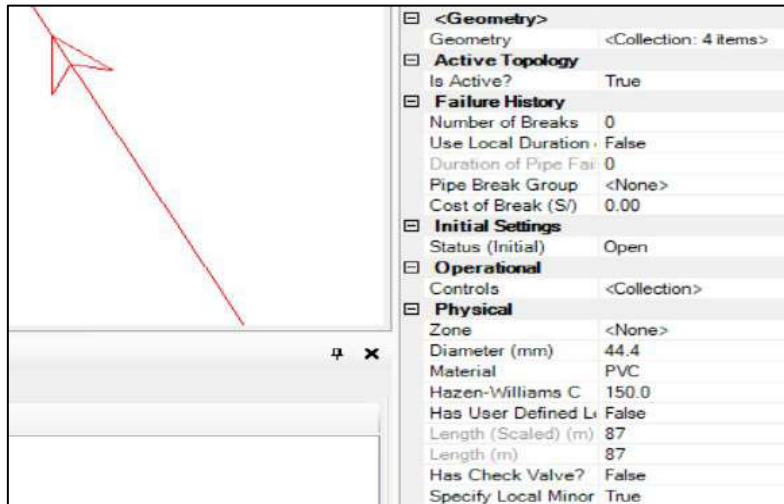


12. Finalmente, se debe colocar los diámetros correspondientes a las tuberías que conforman el sistema tomando como referencia los valores de la Tabla 18, de manera que se logre satisfacer las restricciones de presiones y velocidades establecidas en los apartados 2.2.4.2 y 2.2.4.3.

Se puede asignar los diámetros haciendo directamente click izquierdo a cada tubería y modificando el campo *Diameter* ubicado en su ventana de propiedades, como se muestra en la Figura 40.

Para que el programa realice los cálculos se selecciona la herramienta *Compute*, ubicada en la pestaña *Analysis*. Si no se obtuviera los resultados deseados, se procede a variar los diámetros de las tuberías hasta que se cumplan todas las condiciones necesarias.

Figura 40. Modificación del diámetro de las tuberías



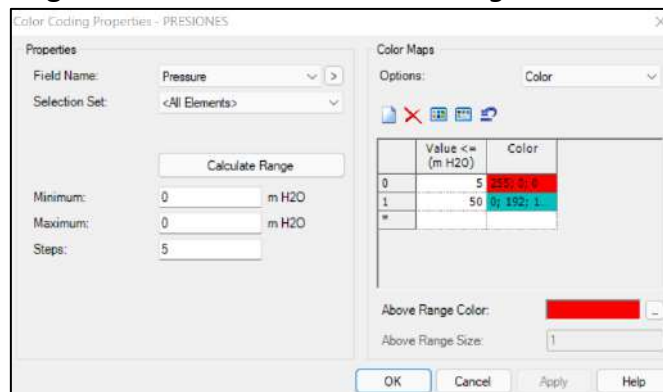
13. Una manera de lograr un mejor entendimiento de los resultados es mediante la creación de códigos de colores y anotaciones para los nodos y tuberías, de manera que se logre diferenciar visualmente los diferentes rangos de valores y los resultados de los parámetros más importantes a analizar.

Para lograr esto, se debe acceder a la ventana *Element Symbology* ubicada en la parte izquierda de la interfaz del programa. Dentro de esta se encuentra los diferentes elementos como nodos, tuberías, conexiones domiciliarias, etc.

Se debe hacer click derecho sobre el elemento al que se desee añadir la etiqueta o código de color y aparecerá una ventana emergente donde se debe elegir la opción *New* para poder escoger entre las alternativas *Annotation* o *Color Coding* de acuerdo a lo que se desee realizar.

Al momento de crear un código de color (v. Figura 41) se debe primero establecer el parámetro que se va a evaluar en el campo *Field Name*, ya sea presión, velocidad, diámetro, etc. Posterior a esto, en la parte derecha se puede fijar los valores y colores que se desee para cada rango de acuerdo al tipo de análisis a realizar.

Figura 41. Herramienta Color Coding



Al asignar una etiqueta a un elemento se debe seleccionar *<Free Form Annotation>* en el campo *Field Name* y luego en el siguiente campo *Free Form* hacer click

derecho sobre los 3 puntos para de esta manera agregar los parámetros que se deseen visualizar en la etiqueta, como se indica en las Figuras 42 y 43.

Figura 42. Herramienta Annotation

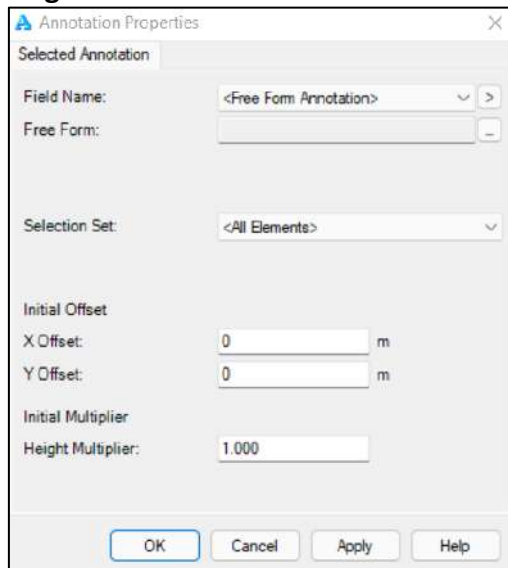
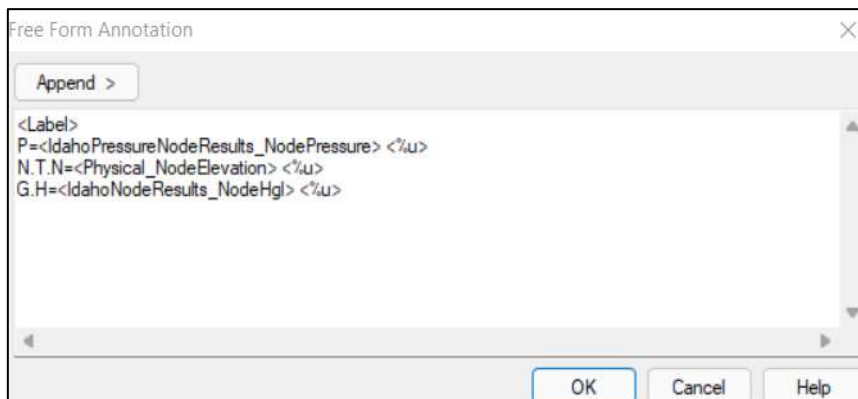


Figura 43. Selección de parámetros para etiqueta de elemento



3.2.2 Análisis de resultados

Una vez realizado el modelamiento de ambos sistemas, se debe evaluar los resultados brindados por el programa y verificar que estos cumplan con los requerimientos mínimos y máximos.

Cabe resaltar que lo que se mostrará a continuación es el producto de un proceso de múltiples iteraciones que se realizaron hasta obtener las mejores condiciones para el abastecimiento de la población.

En las Figuras 44 y 45 se observan los diámetros obtenidos para las tuberías que conformarán las redes de distribución de los dos sistemas. Como se puede apreciar, en ambos casos la línea de aducción es de 1" y la red principal está conformada por tuberías de 1" en el sistema 1 y de 1 ½" en el sistema 2. En cuanto a las redes secundarias, en el sistema 1 se tienen tuberías de ¾"; mientras que el sistema 2 está conformado por tuberías de ¾" y 1". Estos diámetros cumplen con los mínimos establecidos para este tipo de elementos.

Figura 44. Diámetros de tuberías del sistema 1

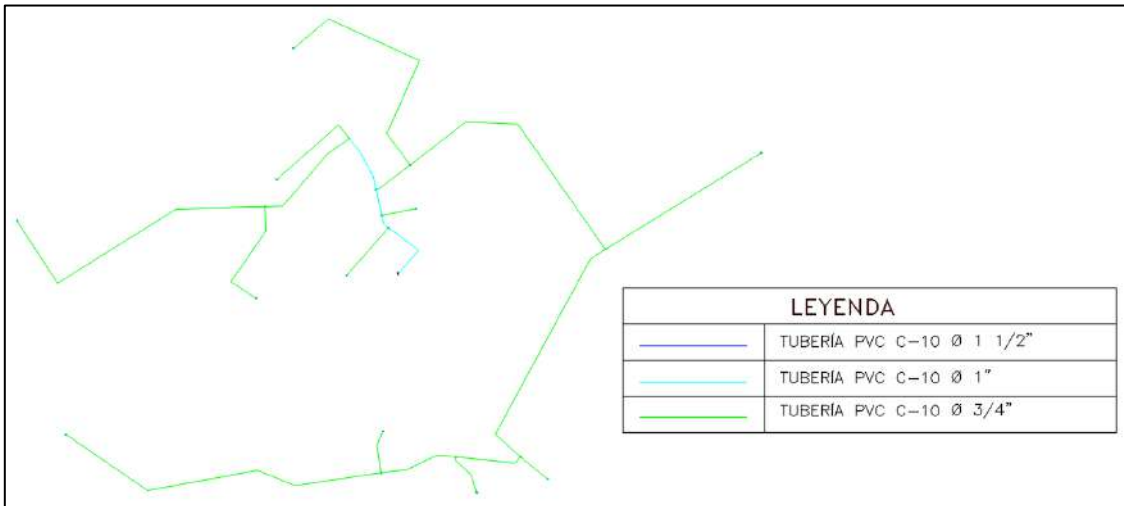
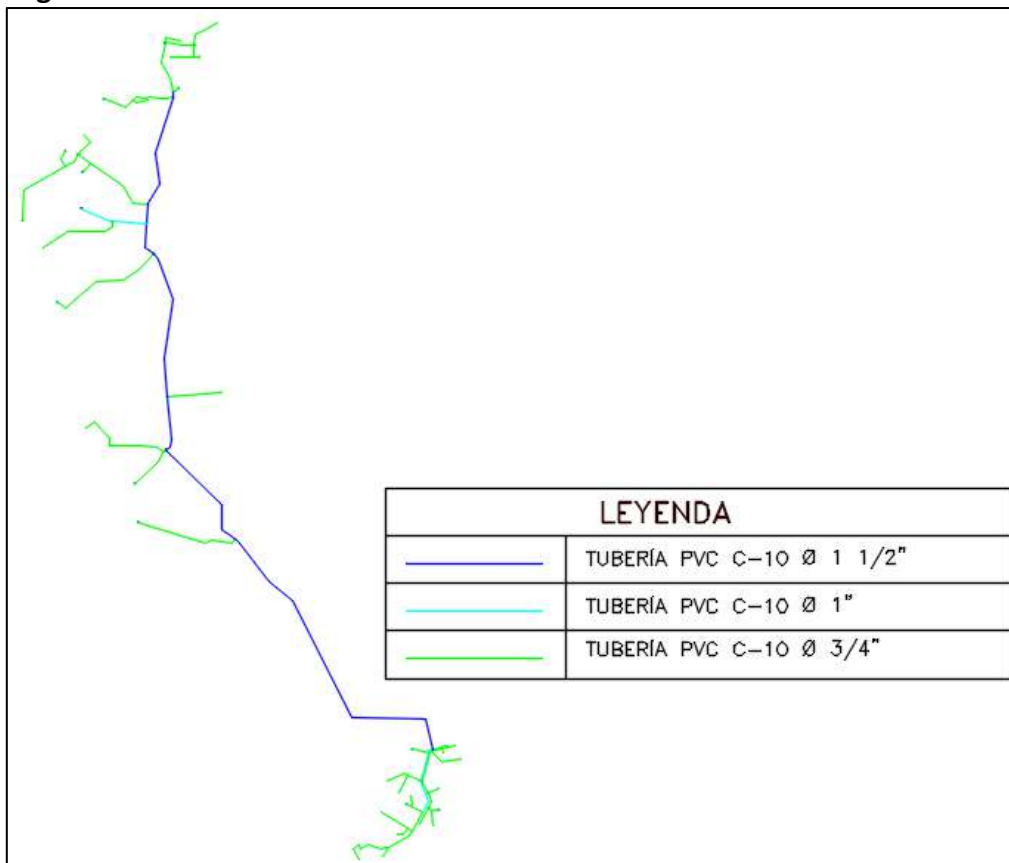


Figura 45. Diámetros de tuberías del sistema 2



En cuanto a las velocidades obtenidas, se tiene que el sistema 2 logra cumplir con lo establecido en el apartado 2.2.4.2, pues en la línea de aducción se alcanza una velocidad de 1.06 m/s encontrándose dentro del rango establecido y en las redes de distribución, la red principal supera en todos sus tramos la velocidad mínima de 0.3 m/s, además en ninguna zona la velocidad está por encima del límite superior de 3 m/s (v. Figura 47).

Para el sistema 1, se observa que las velocidades en su mayoría se encuentran por debajo de 0.3 m/s, mientras que la línea de aducción posee una velocidad teórica de 0.33 m/s. Estos valores son relativamente bajos de acuerdo a los límites mínimos (v. Figura 46).

Esto se debe a la cantidad muy pequeña de pobladores para este sistema, pues como se indica en la Tabla 12, para el año 2041 se tendrá una población de 157 habitantes, lo que genera que los caudales que circulan por las tuberías sean muy pequeños.

Al tener menores caudales, y no pudiendo asignar tuberías de menor diámetro por los valores mínimos establecidos, es que no se pueden obtener mayores velocidades.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, y estando debidamente justificado, se aceptan los valores de velocidades obtenidas del modelamiento para el sistema 1.

Cabe indicar, que a pesar de ser menores a 0.3 m/s, es en la red principal que se registran las velocidades más altas de todo el sistema, esto debido a que es aquí donde los caudales son un poco más altos al ser el punto de encuentro de los ramales.

Se propone entonces, añadir válvulas de purga en aquellos tramos críticos de tubería en que la velocidad sea muy pequeña, de manera que se facilite la limpieza de éstas.

Figura 46. Velocidades en tuberías del sistema 1

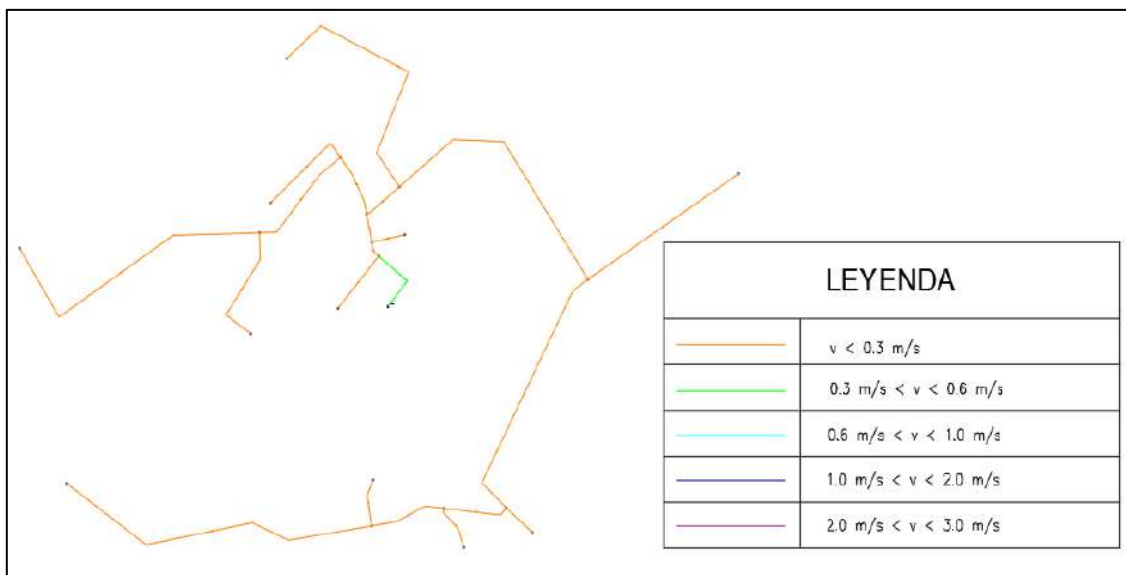
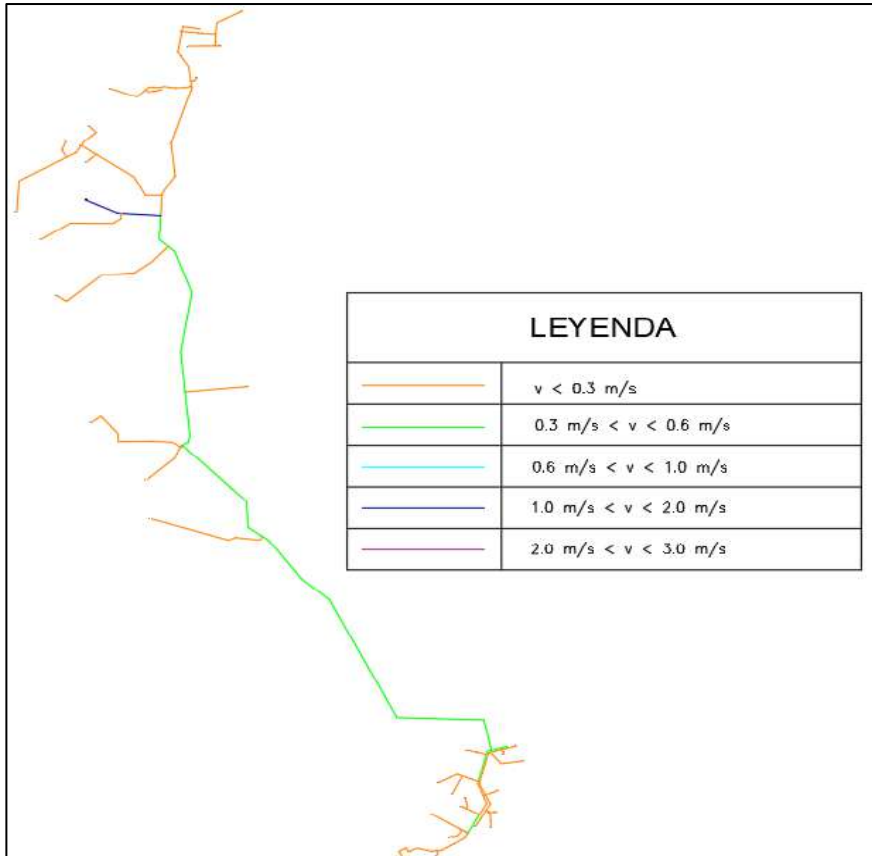


Figura 47. Velocidades en tuberías del sistema 2

En cuanto a las presiones obtenidas (v. Figuras 48 y 49), los modelos garantizan el cumplimiento de los requisitos establecidos, siendo que el sistema 1 presenta presiones desde los 10 m.c.a hasta los 36 m.c.a; mientras que el sistema 2 registra como menor valor de presión 24 m.c.a y alcanza hasta los 52 m.c.a.

De esta manera, ningún nodo de las redes supera los 60 m.c.a fijados como restricción superior y de igual forma en ningún punto la presión es menor a los 5 m.c.a.

De igual forma, los nodos en los que terminan las líneas de aducción de cada sistema son 11 y 41 m.c.a respectivamente para el sistema 1 y 2. Esto se encuentra dentro del rango establecido para este parámetro.

Como se puede apreciar, el sistema 2 llega a tener presiones mucho más altas que el sistema 1; esto se debe a que para el primero, se ha elegido una zona que presenta una cota mucho más alta para la ubicación del reservorio en cuanto al nivel del terreno de los hogares, lo que se ve reflejado en presiones de servicio más elevadas.

Figura 48. Presiones del sistema 1

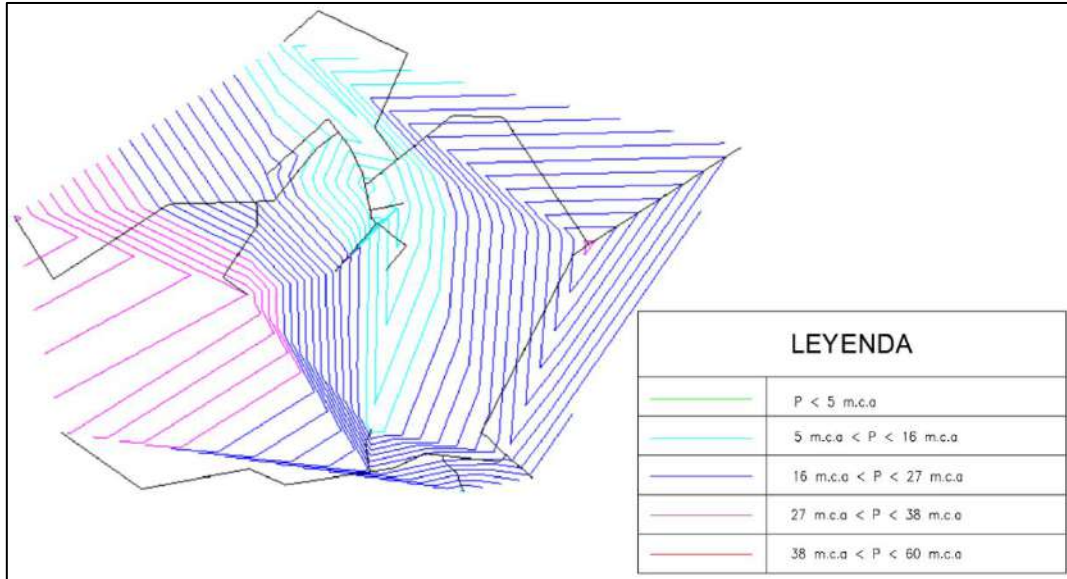
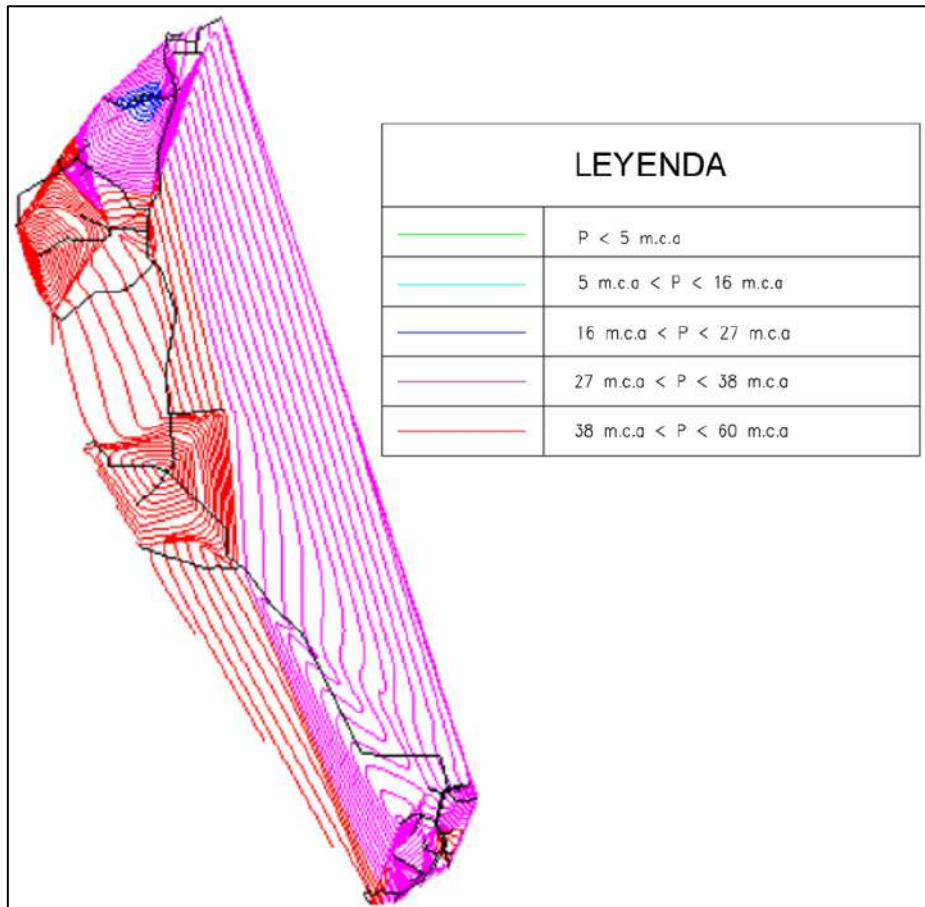


Figura 49. Presiones del sistema 2



Todos los resultados de los diferentes parámetros para ambos sistemas se muestran de manera detallada en el Apéndice C.

Capítulo 4

Diseño de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable

4.1 Estudio de alternativas de tratamiento

Debido a que el agua que abastecerá a los pobladores proviene de fuentes de captación tipo superficial (quebradas), es necesario que se realice el proceso de potabilización correspondiente.

En el marco del empleo de dos sistemas de distribución para los tres centros poblados surge la necesidad de evaluación de dos propuestas para el sistema de tratamiento a utilizar.

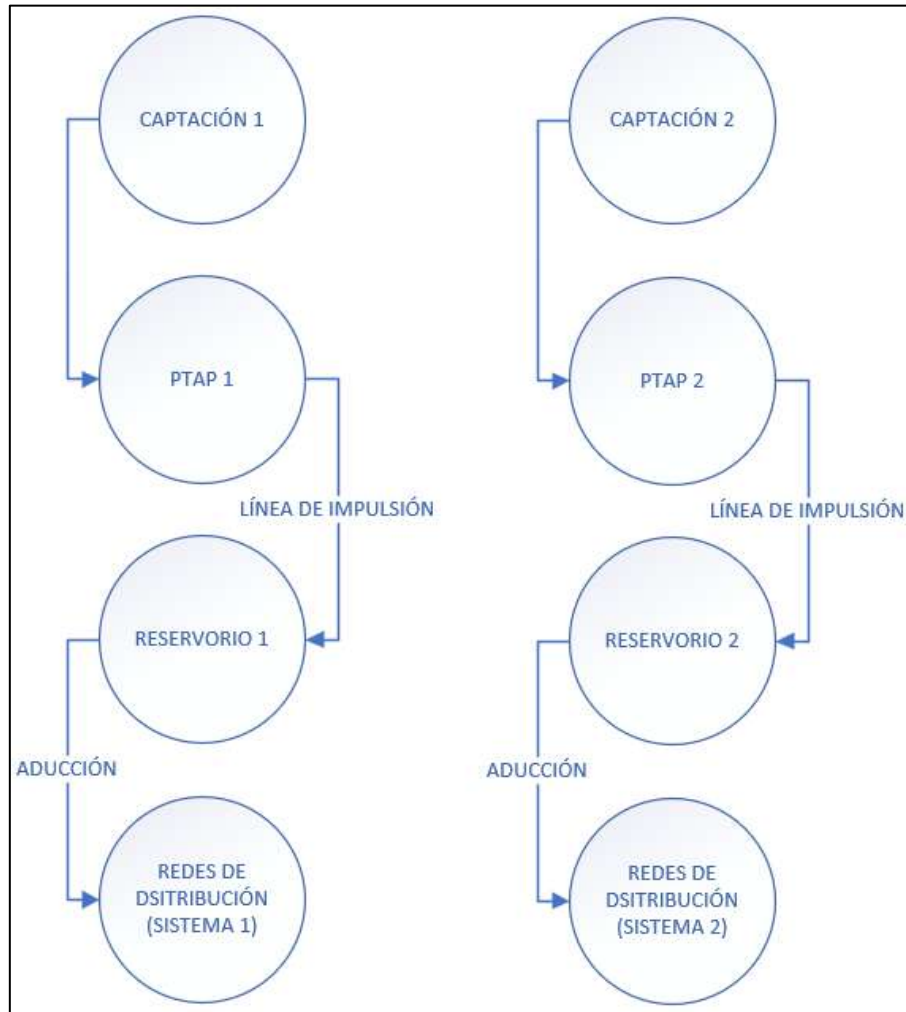
Para realizar un análisis preciso, se tomará como referencia los caudales de cada quebrada obtenidos de la medición de caudales realizada por el equipo consultor del proyecto (R&G Consultores), el cual se detalla en el Apéndice D.

4.1.1 Alternativas de tratamiento propuestas

4.1.1.1 Alternativa 1. Teniendo en cuenta que en la zona del proyecto se localizan dos quebradas: la quebrada Huabal y la quebrada La Huaca, se propone inicialmente el aprovechamiento de ambas, estableciendo que la quebrada Huabal sea la fuente de captación que abastecerá al sistema 1, por su proximidad al centro poblado de Carrizalillo. Mientras que, se puede disponer de la quebrada La Huaca para suministrar el agua al sistema 2, ya que se encuentra en una zona intermedia de los centros poblados de Cerro de Leones y San Pedro.

De esta manera, se tendría que realizar el análisis y diseño de las unidades de cada una de las dos plantas de tratamiento de agua potable que conformarán el proyecto. Para esta alternativa se tendría el siguiente esquema de la Figura 50.

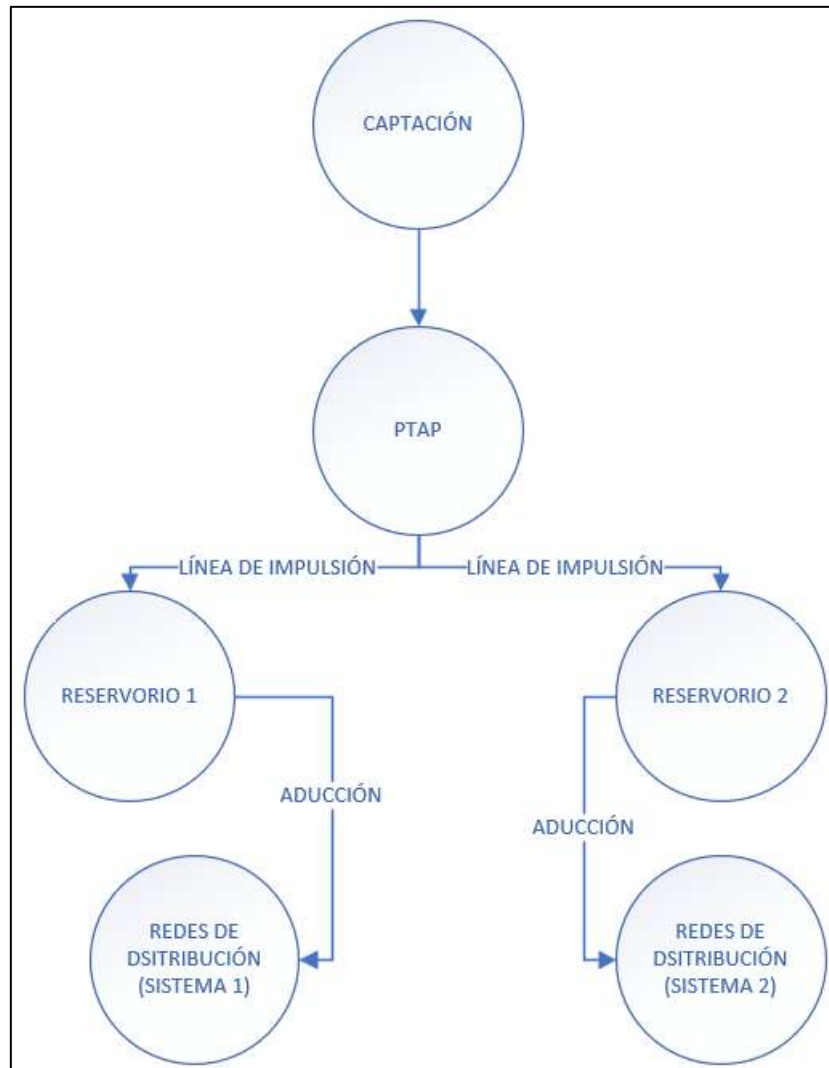
Figura 50. Esquema de la alternativa 1 de tratamiento



4.1.1.2 Alternativa 2. Como segunda alternativa, se plantea la utilización de la quebrada La Huaca para abastecer a ambos sistemas de distribución, y, por lo tanto, a las tres localidades. Esto se propone debido a que dicha fuente de abastecimiento es suficiente para poder suministrar el caudal requerido para los dos sistemas.

Considerando esto, sería necesario solamente el análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua potable que posteriormente, trasladaría a través de dos líneas de impulsión el caudal requerido para los reservorios establecidos para cada sistema de distribución. De esta forma, el esquema de la alternativa 2 quedaría como muestra la Figura 51.

Figura 51. Esquema de la alternativa 2 de tratamiento



4.1.2 Evaluación de alternativas

4.1.2.1 Evaluación descriptiva. Para un mejor análisis de las dos alternativas propuestas, se elaboró un cuadro resumen con las ventajas y desventajas que brinda cada una de éstas, tal como se observa en la Tabla 19.

Tabla 19. Cuadro comparativo de alternativas de tratamiento

Alternativa	1	2
Ventajas	Al ser cada sistema independiente, una falla en cualquiera de éstos no afectaría a todos los pobladores en su conjunto, sino a una parte.	Menor costo de inversión para las instalaciones, al tratarse de una sola PTAP para los tres centros poblados.

Alternativa	1	2
	Menor consumo de energía al requerirse bombas menos potentes que no transporten el agua grandes distancias.	La operación y mantenimiento correspondería a un solo sistema de tratamiento, reduciendo los costos, lo que a su vez se refleja en una cuota mensual mucho menor.
	Se producen menores pérdidas en la impulsión del agua que sale de las PTAP hacia los reservorios al encontrarse a distancias cercanas.	Menor tiempo de ejecución, lo que favorece su pronta puesta en funcionamiento para la distribución del agua potable.
	Mayor costo de infraestructura, al ser necesaria la construcción de dos PTAP.	Requiere un consumo mayor de energía al requerir una bomba de mayor potencia que impulse el agua hacia el reservorio más lejano que se encuentra a una distancia mayor a 7km.
Desventajas	Mayores costos de operación y mantenimiento lo que significa un aumento de la cuota mensual.	Un mal funcionamiento de la planta podría perjudicar a los habitantes de las tres localidades.
	Demanda un mayor tiempo en la ejecución del proyecto.	Se puede generar una mayor pérdida de carga de agua en el tramo de impulsión más largo.

Tomando como factor principal los costos, la alternativa 2 logra reducirlos de manera muy significativa; pues al considerarse la construcción de una planta de tratamiento capaz de potabilizar el caudal necesario para los dos sistemas de distribución, y, por lo tanto, también solamente una captación, se estima que se requerirá una menor inversión para la infraestructura y en gastos de operación y mantenimiento. Esto a su vez afecta de forma positiva la economía de cada una de las familias beneficiadas, al tener que contribuir mensualmente con una cuota mucho menor; esto es muy favorable teniendo en cuenta que en estas zonas rurales no se alcanzan ingresos mensuales muy altos.

Si bien se requerirá la instalación de un sistema de bombeo capaz de realizar la impulsión del agua desde la PTAP hasta el reservorio más alejado, se prevé que estos gastos serían mucho menores que los requeridos para la construcción, operación y mantenimiento de otra planta de tratamiento tal como se plantea en la primera alternativa.

Se tendrá también mayor cuidado con el diseño de la línea de impulsión, para de esta manera escoger opciones que minimicen la pérdida de carga que se puede presentar en el tramo más extenso de tubería.

4.1.2.2 Evaluación económica. Para evaluar la factibilidad económica de las alternativas, se ha optado por el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) para su posterior comparación. El VAN es un criterio que ayuda a determinar las ganancias o pérdidas que producirá cierta inversión en el futuro, a través de los costos y pagos proyectados.

El Van se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_o + \frac{F_1}{(1+k)^1} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Donde:

F_t : Flujo de dinero en un tiempo t

I_o : Inversión inicial

n: Duración del proyecto

k: Tasa de descuento

Para el cálculo de los costos de inversión, se ha utilizado el modelo de costos de Deb y Richards (Ordinola, 2019), el cual propone la estimación de los costos de construcción (CC) y de operación y mantenimiento (O&M), mediante ecuaciones de acuerdo al tipo de tecnología de tratamiento que se va a utilizar, tal como se observa en la Tabla 20.

Tabla 20. Costos de construcción y de operación y mantenimiento

Procesos de ciclo completo	CC (US\$)	O&M (US\$)
Mezcla rápida y floculación	$1553 * Q_{md}^{0.45}$	$600 + 36 * Q_p^{0.59}$
Sedimentación	$8600 + 2694 * Q_{md}^{0.51}$	$539 * Q_p^{0.20}$
Filtración por gravedad	$4052 * Q_{md}^{0.62}$	$2500 + 117 * Q_p^{0.70}$
Cloración	$12500 + 116 * Q_{md}^{0.74}$	$4150 + 33 * Q_p^{0.70}$

Nota. Adaptado de Diseño de la planta de tratamiento de agua potable para tres centros poblados del distrito de Ignacio Escudero (Ordinola, 2019)

Asimismo, es necesario determinar las unidades que conformarán las PTAP, lo que permitirá calcular los costos destinados a infraestructura y su operación y mantenimiento. Para esto, se realizó los correspondientes análisis físicos, químicos y bacteriológicos a las muestras de agua de las quebradas a través de los laboratorios de la empresa EQUAS, cuyos resultados se observan a modo resumen en el Apéndice E.

A manera de conclusión se obtuvo que ambas fuentes de agua registraban niveles de turbidez muy por debajo a 100 NTU, con lo que, siguiendo lo establecido en la Tabla 8, se deberá considerar la utilización de la tecnología de filtración lenta solamente, además del sistema de cloración que se instalará cerca a los reservorios.

De esta manera, los costos para ambas alternativas quedarían tal como se observa en las Tablas 21 y 22.

Tabla 21. Costos de inversión de la alternativa 1

Procesos		CC (Costo de construcción, US\$)	O&M (Costo de O&M, US\$/año)
Filtración por gravedad	1	19424.78	3073.06
	2	40219.36	3800.17
Cloración	1	13253.17	4311.63
	2	14295.34	4516.71
Total		87192.64	15701.58

Tabla 22. Costos de inversión de la alternativa 2

Procesos		CC (Costo de construcción, US\$)	O&M (Costo de O&M, US\$/año)
Filtración por gravedad		47578.48	4070.90
Cloración	1	13253.17	4311.63
	2	14295.34	4516.71
Total		75126.98	12899.25

Teniendo los costos de inversión inicial y asumiendo un ingreso mensual de S/.6.00 por persona (19.41 US\$/persona/año), se realizó el cálculo del VAN para ambas propuestas, obteniendo para la alternativa 1 lo mostrado en la Tabla 23.

Tabla 23. VAN de la alternativa 1

Año	Población (Personas)	Ingresos (US\$)	Egresos (US\$)	Capital Neto (US\$)
0	483	-	-87,192.64	-87,192.64
1	488	9470.62	-15701.58	-6230.96
2	494	9587.06	-15701.58	-6114.51
3	499	9684.10	-15701.58	-6017.48
4	505	9800.54	-15701.58	-5901.04
5	510	9897.57	-15701.58	-5804.00
6	516	10014.02	-15701.58	-5687.56
7	521	10111.05	-15701.58	-5590.52
8	527	10227.49	-15701.58	-5474.08
9	532	10324.53	-15701.58	-5377.05
10	538	10440.97	-15701.58	-5260.60
11	544	10557.41	-15701.58	-5144.16
12	549	10654.45	-15701.58	-5047.13
13	555	10770.89	-15701.58	-4930.69
14	560	10867.92	-15701.58	-4833.65
15	566	10984.37	-15701.58	-4717.21
16	571	11081.40	-15701.58	-4620.17
17	577	11197.84	-15701.58	-4503.73
18	582	11294.88	-15701.58	-4406.70
19	588	11411.32	-15701.58	-4290.25
20	594	11527.76	-15701.58	-4173.81
Valor actual neto (VAN)			-128,879.78	

Y para la alternativa 2 lo mostrado en la Tabla 24.

Tabla 24. VAN de la alternativa 2

Año	Población (Personas)	Ingresos (US\$)	Egresos (US\$)	Capital Neto (US\$)
0	483	-	-75,126.98	-75,126.98
1	488	9470.62	-12899.25	-3428.63
2	494	9587.06	-12899.25	-3312.18
3	499	9684.10	-12899.25	-3215.15
4	505	9800.54	-12899.25	-3098.71
5	510	9897.57	-12899.25	-3001.67
6	516	10014.02	-12899.25	-2885.23
7	521	10111.05	-12899.25	-2788.19
8	527	10227.49	-12899.25	-2671.75
9	532	10324.53	-12899.25	-2574.72
10	538	10440.97	-12899.25	-2458.28
11	544	10557.41	-12899.25	-2341.83
12	549	10654.45	-12899.25	-2244.80
13	555	10770.89	-12899.25	-2128.36
14	560	10867.92	-12899.25	-2031.32
15	566	10984.37	-12899.25	-1914.88
16	571	11081.40	-12899.25	-1817.84
17	577	11197.84	-12899.25	-1701.40
18	582	11294.88	-12899.25	-1604.37
19	588	11411.32	-12899.25	-1487.92
20	594	11527.76	-12899.25	-1371.48
Valor actual neto (VAN)			-95,882.28	

Como se puede distinguir, si bien ambos casos no son rentables, debido a que se obtienen valores negativos del VAN, se escoge la que genera menor pérdida.

Además, comparando los puntos a favor y en contra de cada una de las alternativas expuestas, se llegó a la conclusión de que es más conveniente utilizar la segunda opción para el tratamiento del agua.

4.2 Diseño de los componentes

4.2.1 Captación

De acuerdo a la alternativa de tratamiento seleccionada, será necesaria solamente una estructura de captación para ambos sistemas. Debido a que se requiere elevar el nivel del agua, por el tirante bajo que posee la quebrada La Huaca, se ha propuesto la construcción de una bocatoma de barraje fijo sin canal de derivación. Para el diseño de ésta, se ha considerado el procedimiento descrito en la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para sistemas de Saneamiento en el ámbito Rural (2018), el cual se sigue paso a paso a continuación.

Considerando que el caudal máximo diario necesario para abastecer ambos sistemas es de 0.615 l/s, se realizará el diseño de la bocatoma con un caudal de 1.0 l/s. Además, se considerarán los siguientes datos de la Tabla 25.

Tabla 25. Parámetros considerados para el diseño de la bocatoma

Parámetro	Valor	Descripción
Qmax	0.15 m ³ /s	Caudal máximo de avenida
Qmin	0.13 m ³ /s	Caudal mínimo de estiaje
a	0.75	Parámetro que caracteriza al cauce de la quebrada (zona de planicie)
Br	2.0 m	Ancho de la quebrada
S	0.001	Pendiente de la quebrada
n	0.015	Rugosidad del concreto

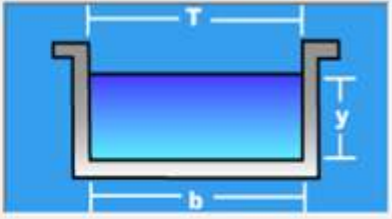
Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

- **Tirante y velocidad de la quebrada**

Para el cálculo de los tirantes normal y crítico se empleó el software HCanales, obteniendo los siguientes resultados (v. Figuras 52 y 53).

Figura 52. Cálculo del tirante normal

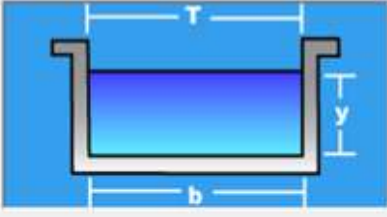
Datos:	
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.15"/> m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="2"/> m
Talud (Z):	<input type="text"/>
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.015"/>
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.001"/> m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.1425"/> m	Perímetro (p):	<input type="text" value="2.2850"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.2850"/> m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1247"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="2.0000"/> m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.5263"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.4451"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="0.1566"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>		

Figura 53. Cálculo del crítico

Datos:	
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.15"/> m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="2"/> m
Talud (Z):	<input type="text"/>



Resultados:			
Tirante crítico (y):	<input type="text" value="0.0832"/> m	Perímetro (p):	<input type="text" value="2.1664"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1664"/> m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0768"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="2.0000"/> m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.9014"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.0000"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="0.1246"/> m-Kg/Kg

De esta manera, se tiene un tirante normal $Y_{nr} = 0.14$ m, mientras que el tirante crítico asciende a $Y_c = 0.08$ m.

La velocidad media de la quebrada está dada por:

$$V_r = \frac{Q_r}{A_r}$$

Donde:

V_r : Velocidad media de la quebrada

Q_r : Caudal de la quebrada

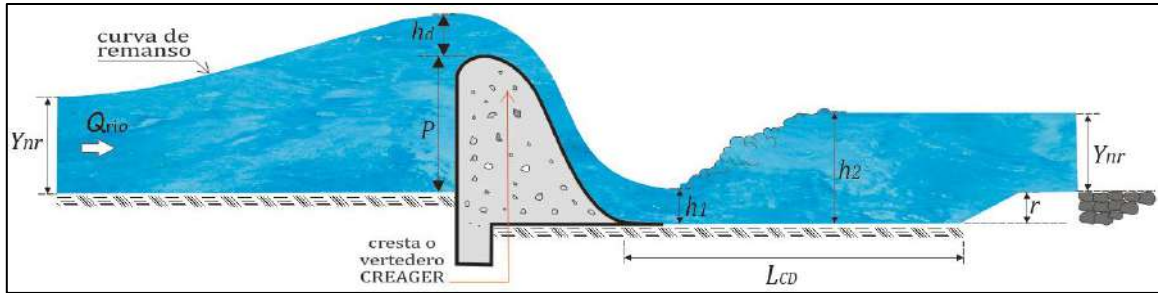
A_r : Área transversal de la quebrada, la cual es igual a:

$$A_r = Y_{nr} * B_r$$

Reemplazando los datos se obtiene una velocidad media aproximada $V_r = 0.60$ m/s.

- Cresta Creager

Figura 54. Esquema de la cresta Creager



Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

El caudal que rige sobre el barraje está dado por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{2}{3} (u * b * \sqrt{2g}) \left[\left(h_d + \frac{v^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{v^2}{2g} \right)^{3/2} \right]$$

Donde:

u: Coeficiente según forma de la cresta (0.75)

b: Ancho de encausamiento (2 m)

v: Velocidad de acercamiento de la quebrada (0.60 m/s)

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

h_d: Altura de carga hidráulica o tirante de agua sobre la cresta del vertedero

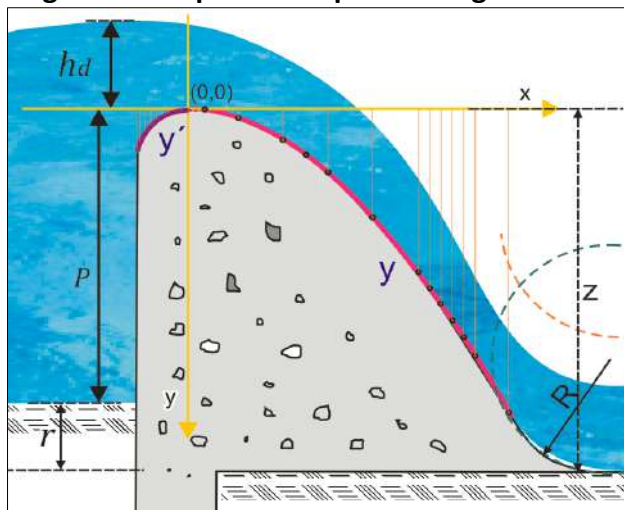
Esta altura se calcula realizando iteraciones de valores teniendo en cuenta las ecuaciones que rigen el comportamiento del perfil Creager (v. Figuras 54 y 55).

$$y' = 0.724 * \left(\frac{x + 0.27h_d}{h_d^{0.35}} \right)^{1.85} + 0.126 h_d - 0.4315 h_d^{0.375} * (x + 0.27 h_d)^{0.625}$$

$$y = \frac{x^{1.85}}{2h_d^{0.85}}$$

El valor óptimo para este parámetro se estimó en h_d = 0.26 m.

Figura 55. Esquema del perfil Creager



Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

Con el valor de carga hidráulica, es posible calcular el caudal sobre el barraje, el cual alcanza un valor de $Q = 0.64 \text{ m}^3/\text{s}$.

La velocidad de agua sobre la cresta del azud está dada por el caudal y área en esta zona:

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$A = b * h_d$$

Con los valores determinados previamente, la velocidad en este punto es equivalente a 1.23 m/s.

Asimismo, se puede hallar la altura de carga energética a través de:

$$h_e = h_d + \frac{v^2}{2g}$$

Reemplazando los datos existentes, se obtiene una $h_e = 0.34 \text{ m}$.

Para determinar la altura del vertedero se debe calcular en primer lugar la altura del azud (v. Figura 56), el cual equivale a:

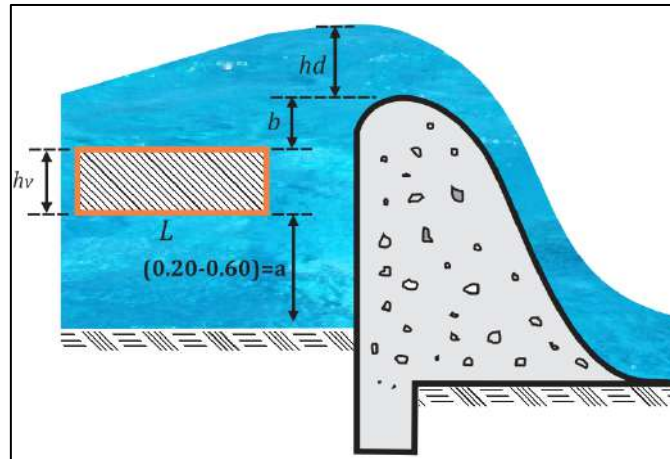
$$P = h_v + a + 0.20 \text{ m}$$

Donde:

P: Altura del azud

h_v : Altura de la ventana de captación

a: Altura del umbral del vertedero de captación

Figura 56. Altura del vertedero

Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

Mansen (s.f.) recomienda 20 cm para la altura de la ventana de captación y 60 cm para el umbral de captación con lo que se tiene un azud de altura igual a 1 m.

El vertedero tendrá una altura equivalente a la suma de valores del azud y el radio de enlace.

$$Z = P + r$$

Donde:

Z: Altura del vertedero

r: Profundidad del colchón disipador

Por lo que, si se considera una profundidad de colchón de 50 cm, al vertedero alcanza 1.50 m de altura.

Además, se debe calcular las dimensiones que debe tener cada barraje, para lo cual se debe tener en cuenta que la relación de áreas hidráulicas (v. Figura 57) está determinada por:

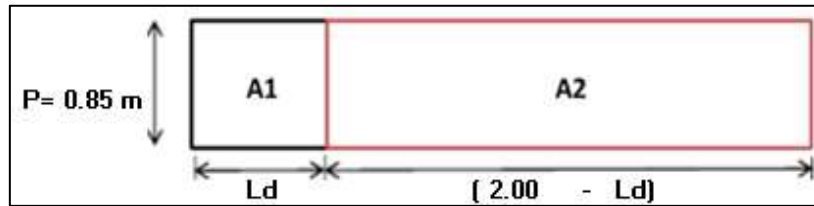
$$A_1 = A_2/10$$

Donde:

A₁: Área del barraje móvil

A₂: Área del barraje fijo

Figura 57. Esquema de barraje fijo y móvil

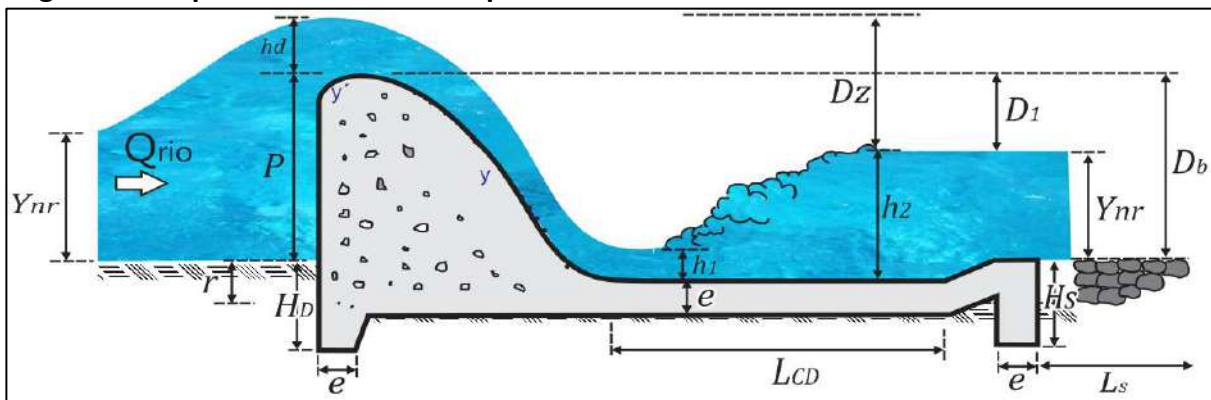


Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

Reemplazando la última ecuación en el cálculo de las áreas, se obtiene un ancho de 50 cm para el barraje móvil, y un ancho de 1.50 m para el barraje fijo.

- Colchón dissipador

Figura 58. Esquema del colchón dissipador



Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

Previo al cálculo de la longitud del colchón dissipador (v. Figura 58), es necesario determinar la altura del agua al pie del azud y el tirante aguas abajo, para lo cual se empleará la fórmula aproximada de Merriam:

$$h_2 = 0.45 \frac{q}{\sqrt{h_1}}$$

Donde:

h₁: Tirante contrario al pie del azud

h₂: Profundidad aguas abajo

q: Caudal específico de agua sobre el azud

Este último, es el equivalente al caudal por 1 m de ancho; de esta manera se tendría un q igual a 0.075 m³/s.

Además, se sabe que la velocidad es igual a:

$$V = \sqrt{2 * g * \Delta h}$$

Sabiendo que la velocidad es igual a 1.23 m/s, la variación de altura Δh asciende a 0.078 m.

Conocido dicho parámetro, se realizan iteraciones con la fórmula de Merriam, de forma que cumplan con esta variación, hasta obtener los valores correctos de h_1 y h_2 . De este modo, se cuenta con un $h_1 = 0.060$ m y con un $h_2 = 0.138$ m.

Posterior a esto, la longitud del colchón disipador será el promedio de estos 3 valores:

$$L_{CD} = 4 * h_2$$

$$L_{CD} = 5 * (h_2 - h_1)$$

$$L_{CD} = 6 * h_1 * F_1 ; F_1 = \frac{V}{(g * h_1)^{0.5}}$$

Reemplazando los datos, se consigue un promedio de 0.506 m, por lo que se opta por una longitud de colchón disipador LCD = 1.0 m.

Se debe calcular también, la longitud de protección y enrocado en la parte final del colchón disipador, la cual está dada por:

$$L_S = 0.6 * C * D_1^{\frac{1}{2}} * [1.12 * \left(\frac{q * D_b}{D_1}\right)^{\frac{1}{2}} - 1]$$

Donde:

C: Coeficiente de Bligh (C = 4-8 para arenas y gravas)

D1: Diferencia entre la altura de azud y el tirante normal

$$D_1 = P - Y_{nr} = 0.86 \text{ m}$$

Db: Suma de la distancia D1 y el tirante normal

$$D_b = D_1 + Y_{nr} = 1.0 \text{ m}$$

Por lo que, considerando un valor de C = 5, se obtiene un $L_S = -1.86$ m. Al ser un valor negativo, se recomienda tomar un valor igual a 0.70 m.

Es necesario también dimensionar los dentellos del colchón disipador aguas arriba y aguas abajo H_D y H_S con el fin de evitar la socavación de la quebrada, para los cuales se hace uso de las siguientes ecuaciones, según Vysgo (1974):

$$H_D = D_Z$$

$$H_S = k * \sqrt{q * \sqrt{D_Z}} - Y_{nr}$$

Donde:

k: Parámetro para evitar socavación

D_Z : Diferencia de cota entre las superficies de agua arriba y bajo del azud.

$$D_z = P + h_d - Y_{nr} = 1.12 \text{ m}$$

El parámetro k depende de la relación L_s/Y_{nr} tal como se indica en la Tabla 26.

Tabla 26. Valores de K

L_s/Y_{nr}	< 5	5	10	20
k	1.4	1.3	1.21	1

Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

Teniendo en cuenta que $L_s/Y_{nr} = 5$, se toma un valor de $k = 1.3$. Con esto, se obtiene una $H_D = 1.12 \text{ m}$ y una $H_S = 0.226 \text{ m}$. Por criterio se considerará valores de 1.20 y 0.70 m respectivamente.

Otro parámetro importante a determinar es el espesor necesario para resistir el impacto del agua que baje al colchón disipador. Para éste, Mansen (s.f.) recomienda utilizar un espesor $e = 90 \text{ cm}$.

Para el radio de enlace (R), el cual se observa en la Figura 55 se emplea la siguiente ecuación:

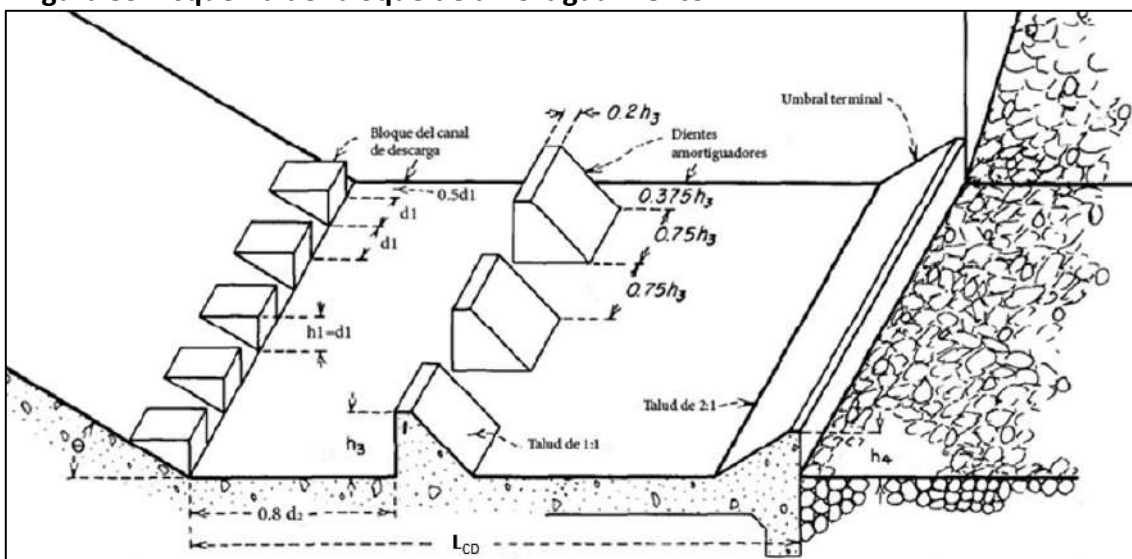
$$R = 10 \sqrt{\frac{V+6.4*hd}{3.6hd+64}}$$

Al ingresar los valores conocidos de V (4 pies/s) y de h_d (0.85 pies) se obtiene un radio de enlace $R = 1.40\text{m}$.

- **Bloque de amortiguamiento**

Para estas dimensiones se utilizará lo especificado en la Figura 59.

Figura 59. Esquema del bloque de amortiguamiento



Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

Donde:

$$d_1 = h_1 = 0.060 \text{ m}$$

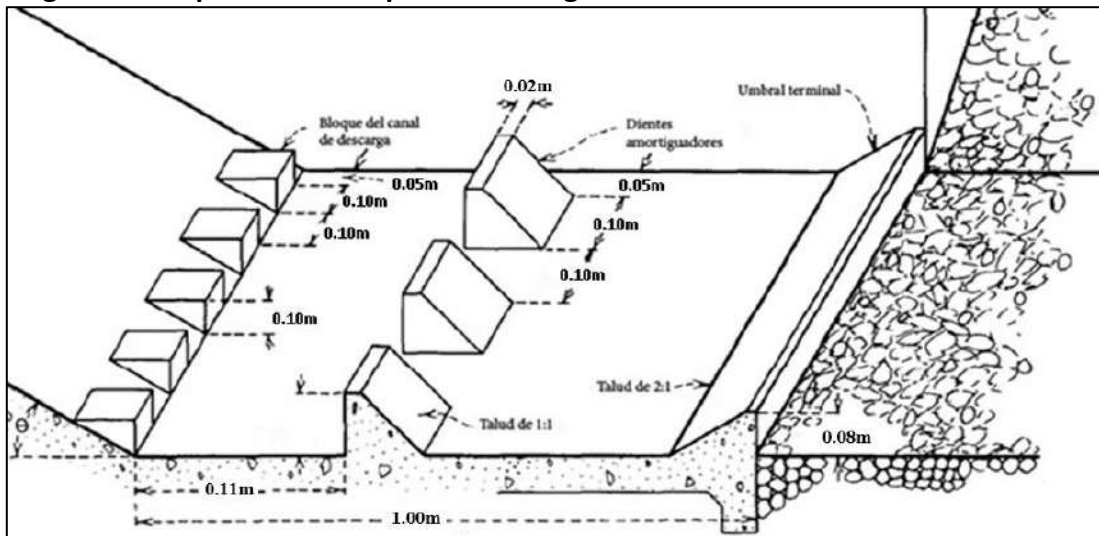
$$d_2 = h_2 = 0.138 \text{ m}$$

$$\frac{h_3}{d_1} = 1.40 ; h_3 = 0.084 \text{ m}$$

$$\frac{h_4}{d_1} = 1.25 ; h_4 = 0.075 \text{ m}$$

Reemplazando estos valores, se va a considerar lo mostrado en la Figura 60.

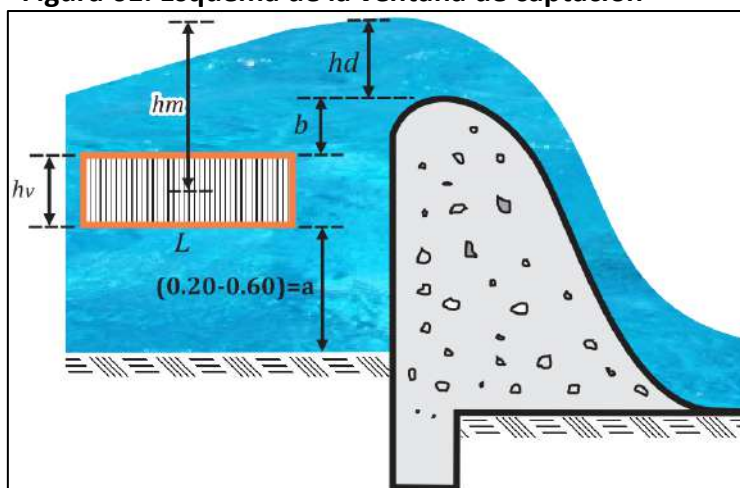
Figura 60. Esquema del bloque de amortiguamiento con valores calculados



Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

- Ventana de captación

Figura 61. Esquema de la ventana de captación



Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

Con la altura de la ventana definida, restaría calcular la longitud de ésta, para lo cual se hace uso de la ecuación general para un orificio:

$$Q_0 = C * A * (2 * g * h_m)^{1/2}$$

Donde:

Q_0 : Caudal del orificio de descarga = Caudal de derivación (1 l/s = 0.001 m³/s)

C: Coeficiente del vertedero (C = 0.6)

h_m : Altura desde el centro de la ventana hasta el tirante de la cresta (v. Figura 61), la cual es igual a:

$$h_m = \frac{h_v}{2} + 0.20 + h_d = 0.56 \text{ m}$$

A: Área de la ventana, que está dada por:

$$A = h_v * L$$

Siendo L la longitud de la ventana de captación. Reemplazando los valores de los parámetros conocidos, se obtiene una longitud igual a 0.003 m, por lo que se considerará una L = 0.20 m.

4.2.2 Planta de tratamiento de agua potable

De igual manera que con la captación, el diseño de los componentes de la planta de tratamiento de agua potable se realizará siguiendo los procedimientos descritos en la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para sistemas de Saneamiento en el ámbito Rural (2018).

4.2.2.1 Filtro lento

- **Estructura de entrada**

Para la estructura que da el ingreso al agua cruda (v. Figuras 62 y 63), se tienen dimensiones estándar. La caja de entrada será de 1.30 x 1.55 m, en la cual se instalará un vertedero triangular que permitirá un mejor control y distribución del caudal a la unidad, debido a que posterior a este se encuentran dos vertederos de 50 cm de ancho encargados de repartir equitativamente el agua a los filtros, los cuales serán dos por fines constructivos. Asimismo, se prevee la construcción de un compartimiento posterior a un veretdero de alivio de 40 cm de ancho, con el fin de evitar que se opere con un caudal mayor al de diseño.

Qmd: Caudal de diseño (m³/h)

N: Número de unidades

V_f: Velocidad de filtración

De esta manera, cada unidad deberá contar con un área de 18 m², y sus dimensiones estarán definidas por las siguientes ecuaciones:

$$K = \frac{2 * N}{N + 1}$$

$$l = \sqrt{A_f * K}$$

$$b = \sqrt{\frac{A_f}{K}}$$

Donde:

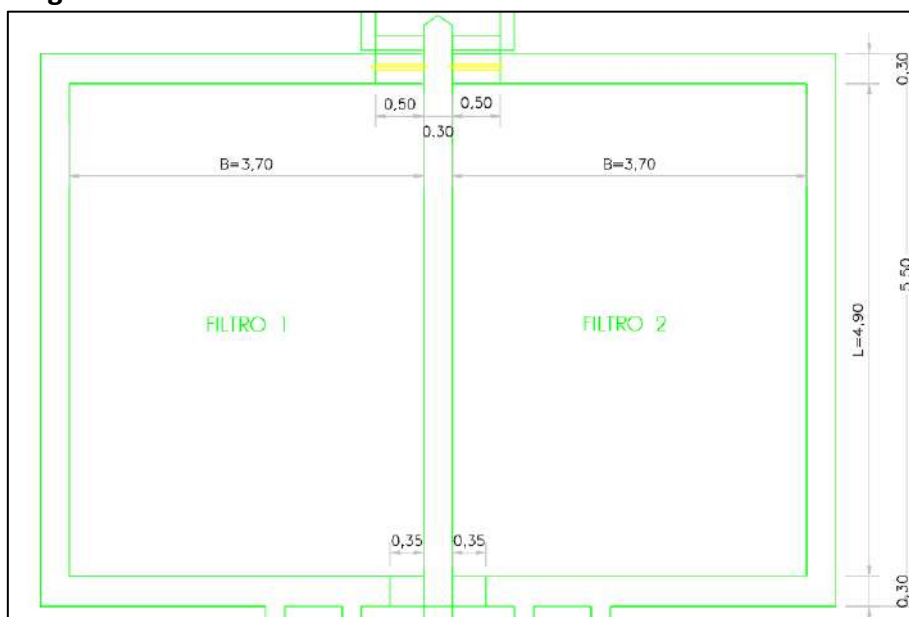
K: Coeficiente mínimo de costo

l: Largo de la unidad

a: Ancho de la unidad

Como resultado se obtiene un K = 1.33 y unidades de 4.9 x 3.7 m como se muestra en la Figura 64.

Figura 64. Dimensiones de las unidades del filtro



Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

El medio filtrante tendrá una altura de 2.45 m y estará conformado por las capas establecidas en la Tabla 27, que se han establecido siguiendo los criterios de diseño de la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para sistemas de Saneamiento en el ámbito Rural (2018):

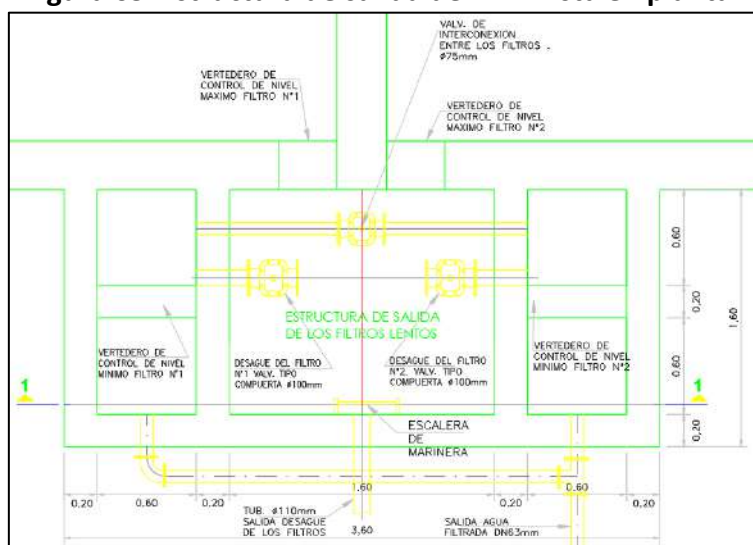
Tabla 27. Capas del medio filtrante

Capa	Altura
Altura de la capa de agua (m)	1.00
Altura del lecho filtrante (m)	0.80
Altura de la grava (m)	0.20
Altura canales de drenaje (m)	0.15
Borde libre (m)	0.30

Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

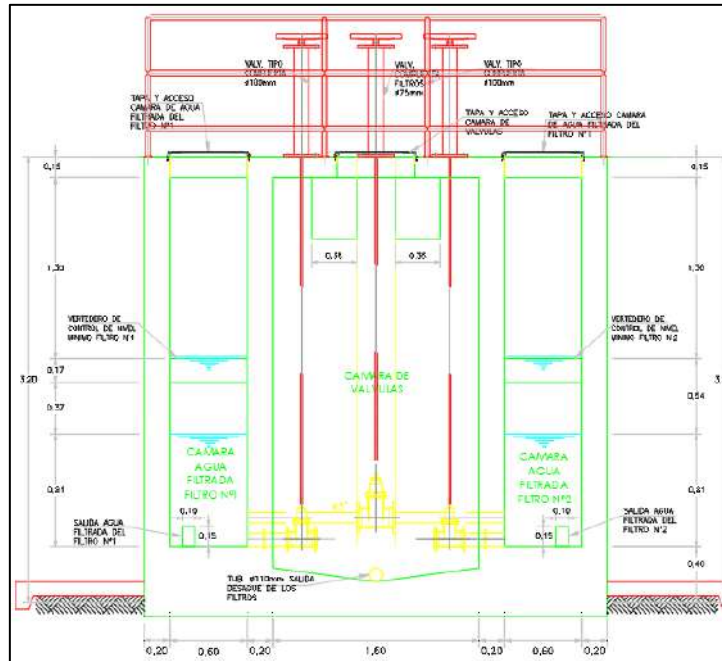
- **Estructura de salida**

Al igual que para la entrada, la estructura de salida cuenta con dimensiones estándar establecidas (v. Figuras 65 y 66). En este caso, la estructura tiene un largo de 3.20 m y un ancho de 1.40 m. Está conformada por dos vertederos a ambos extremos que sirven como salida de cada unidad de filtro y un compartimento al centro que sirve de caja que alberga las válvulas de desagüe e interconexión. Además, es aquí donde se almacena el agua proveniente de los aliviaderos de control del nivel máximo de operación de las unidades.

Figura 65. Estructura de salida del FL – vista en planta

Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

Figura 66. Estructura de salida del FL – vista en corte



Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

- **Unidad de lavado y depósito de arena**

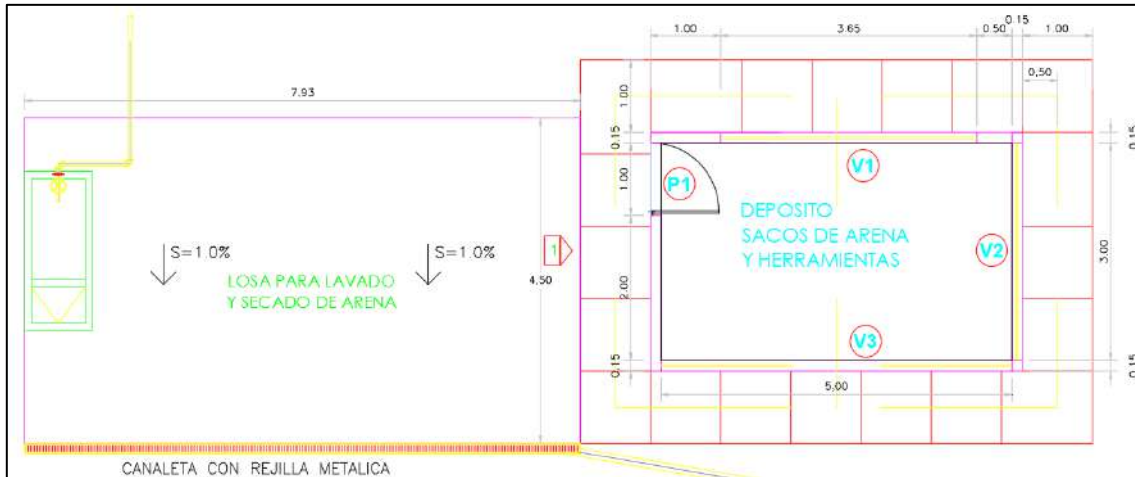
Cada cierto tiempo, será necesario realizar operaciones de raspado y lavado de la arena de los filtros, para de esta manera garantizar un buen funcionamiento de las unidades.

Considerando que en cada una de las dos unidades, las capas de raspado tendrán un espesor de 2 cm, y estimando 6 raspados por año por un tiempo aproximado de 4 años; se requerirá un volumen de más de 17 m³ para el almacenamiento de esta arena.

Además, si se considera que cada apilamiento de las bolsas de arena tendrá una altura de 1.80 m, será necesaria un área de casi 10 m², por lo que el depósito que albergará los sacos de arena y todas las herramientas necesarias para las diferentes operaciones del filtro lento (palas, cubos, escalera, etc.) contará con unas dimensiones de 3 x 5 m, para evitar futuros problemas de almacenamiento.

La unidad de lavado de arena es un pequeño canal de medidas 0.60 x 2.0 m al cual llega agua cruda que sale de la estructura de entrada del filtro, esta con la finalidad de realizar el lavado de la arena raspada de las unidades. También se debe construir una losa en la que se colocará la arena limpia para su secado y posterior empaquetamiento en bolsas (v. Figura 67).

Figura 67. Unidad de depósito y lavado de arena



Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

4.2.2.2 Tratamiento de aguas residuales. Si bien la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para sistemas de Saneamiento en el ámbito Rural (2018) recomienda el uso de lechos de secados para este proceso, solo se cuenta con un filtro lento y su respectiva unidad de lavado de arena, que serían los únicos elementos que aporten aguas residuales. Es por esto, que se cree conveniente, al ser un efluente muy bajo, destinarlo a otros usos como riego agrícola para que de esta manera, esta agua pueda ser reciclada como beneficio para los pobladores.

4.2.2.3 Sistema de desinfección. Previo al almacenaje, el agua debe pasar por un sistema de desinfección que reduzca la carga microbiana que no es eliminada en la filtración y a su vez garantice una cantidad de cloro residual que permita que el agua sea inocua para su momento de consumo.

Un factor importante para aumentar la eficiencia del cloro es el tiempo de contacto. El Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural (2017) recomienda un tiempo de contacto de 30 minutos para la cloración del agua.

El tiempo de contacto debe ser garantizado por el reactor o componente donde se aplicará el cloro, por lo que es importante establecer un flujo que asegure el contacto entre el cloro y el volumen de agua durante el tiempo establecido. De esta manera se tiene:

$$T = \frac{V}{Q}$$

Donde:

T: Tiempo de contacto o período de retención hidráulica en s

Q: Caudal de agua en m³/s

V: Volumen del reactor en m³

Por lo anterior mencionado, si bien en el ámbito rural se suele colocar el sistema de desinfección en la parte superior de los reservorios, se recomienda contar con una estructura diseñada específicamente para la cloración.

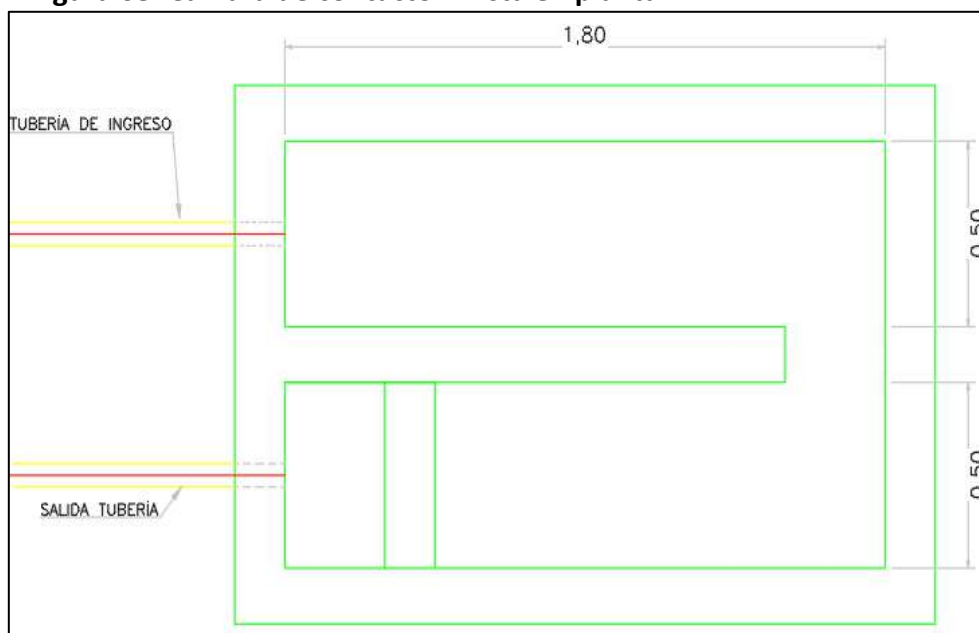
En este caso, se implementará una cámara de contacto, para la cual se considerará una altura de 1 m, además tendrá 2 secciones para las cuales se asume un ancho de 0.5 m; de esta forma el dimensionamiento de la cámara quedaría como lo mostrado en la Tabla 28 y Figura 68.

Tabla 28. Dimensiones de la cámara de contacto

Parámetro	Valor
Período de retención hidráulica (min)	30
Período de retención hidráulica (s)	1800
Caudal (m ³ /s)	0.001
Volumen (m ³)	1.8
Altura (m)	1
Área (m ²)	1.8
Ancho de sección (m)	0.50
Largo total(m)	3.60
Número de secciones	2
Largo de sección (m)	1.80
Volumen real (m ³)	1.8

Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

Figura 68. Cámara de contacto – vista en planta



Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

Además, para suministrar el cloro se empleará el método por goteo, para lo cual se colocarán bidones que serán encargados de suministrar el hipoclorito de calcio necesario según las dosis establecidas; en este caso 2 g/m³.

El peso del cloro necesario se determina a través de la siguiente expresión:

$$P = Q * d$$

Donde:

P: Peso del cloro en g/h

Q: Caudal de agua en m³/h

d: Dosis de cloro en g/m³

Luego, se debe calcular el peso del producto comercial, considerando la cantidad de cloro activo que contiene.

$$P_c = P * \frac{100}{r}$$

Donde:

P_c: Peso del producto comercial en g/h

r: Porcentaje de la cantidad de cloro activo que contiene el producto comercial en %

Sabiendo que, en el mercado nacional, los productos como el hipoclorito de calcio contienen entre 60 - 70% de cloro activo, se considerará un r = 65%.

Con esto, se puede determinar el caudal requerido por la solución de hipoclorito en base a la concentración de la solución, lo que facilita la elección del equipo dosificador necesario.

$$q_s = P_c * \frac{100}{c}$$

Donde:

q_s: Demanda de la solución en l/h, suponiendo que 1 litro de solución equivale a 1 kilogramo.

c: Concentración de la solución en %

Por último, el volumen del bidón a utilizar se obtiene en función del tiempo que representa el consumo de todo el recipiente que contiene la solución.

$$V_s = q_s * t$$

Donde:

V_s: Volumen necesario de la solución en l (volumen del bidón a emplear)

t: Tiempo de uso del bidón en h, el cual se basa en los ciclos de preparación: 4 ciclos equivalen a 6 horas, 3 ciclos a 8 horas y 2 ciclos a 12 horas.

En ambos sistemas se considerará una concentración de solución del 25 % y un tiempo de uso de 12 horas, con lo que se obtienen los siguientes resultados de la Tabla 29.

Tabla 29. Cálculos de los sistemas de desinfección

Q_{md} (l/s)	Q_{md} (m ³ /h)	Dosis (g/m ³)	P (g/h)	r (%)	P_c (g/h)	P_c (Kg/h)	C (%)	q_s (l/h)	t (h)	V_s (l)	Volumen Bidón adoptado (l)
1.00	3.60	2.00	7.20	65	11.08	0.0111	25	4.43	12	53.17	60

Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

4.2.2.4 Cisterna. Será la encargada de almacenar el agua proveniente de la cámara de contacto. Se instalará una cisterna que contendrá el volumen necesario para poder derivar la cantidad de agua requerida a cada reservorio.

El volumen de ésta, está determinado por:

$$V_c = \frac{Q_{md} * 60 * 60 * t_b}{1000}$$

Donde:

V_c : Volumen de la cisterna (m³)

Q_{md} : Caudal máximo diario anual (l/s)

t_b : Tiempo más largo de descanso de la bomba (h), y está dado por:

$$t_b = \frac{(24 - h_b)}{2}$$

h_b : Número de horas de bombeo (h)

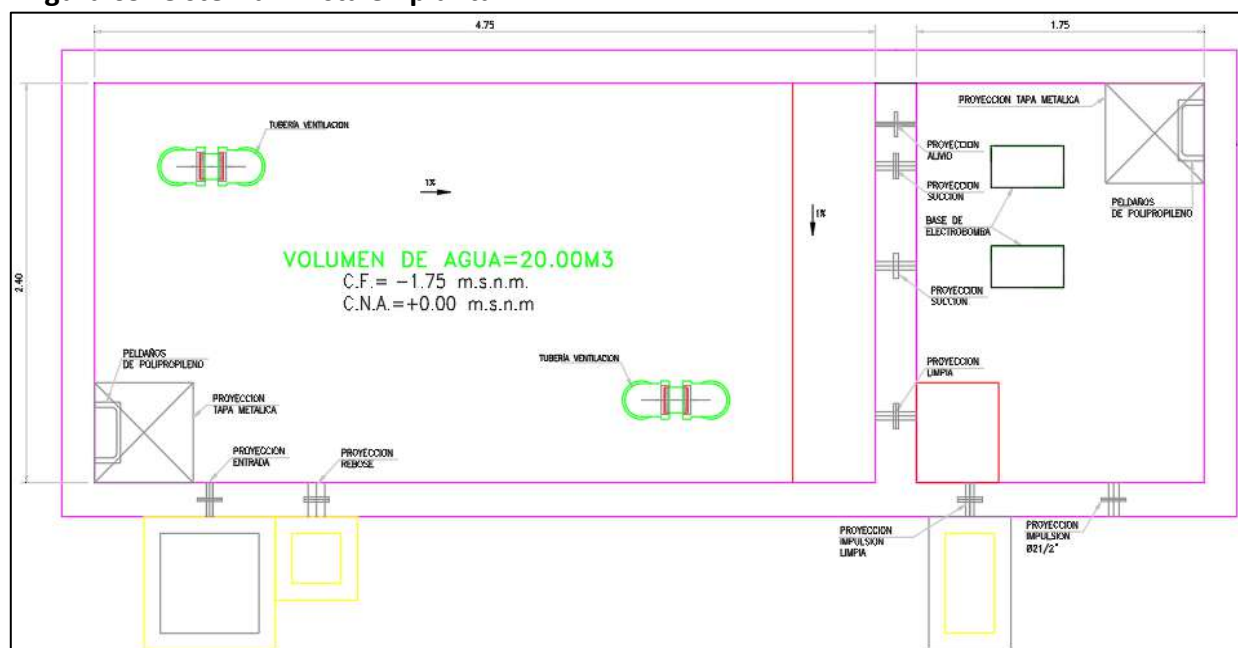
Teniendo en cuenta que se instalará una cisterna de forma rectangular, se obtienen los parámetros de la Tabla 30.

Tabla 30. Parámetros de las cisternas

Parámetro	Valor
N° de horas de bombeo (h)	6.0
Tiempo más largo de descanso de la bomba (h)	9.0
Caudal máximo diario anual (l/s)	0.615
Volumen de cisterna (m ³)	20.00
Ancho interno (m)	4.75
Largo interno (m)	2.40
Altura útil de agua (m)	1.75

Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

Además, se implementará una caseta de bombeo, que albergará a las bombas necesarias para impulsar el agua tratada en dirección a los reservorios correspondientes de cada sistema, tal como se observa en la Figura 69.

Figura 69. Cisterna – vista en planta

Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

4.2.3 Líneas de impulsión

Debido a que los reservorios de ambos sistemas registran una cota superior a la altura del terreno de las cisternas, será necesario que las líneas de impulsión garanticen la llegada del agua hasta los puntos más altos para su almacenamiento.

Para el diseño de las líneas de impulsión será necesario determinar su caudal de bombeo, el cual se puede obtener con la siguiente expresión:

$$Q_b = Q_{md} * \frac{24}{N}$$

Donde:

Q_b : Caudal de bombeo (l/s)

Q_{md} : Caudal máximo diario (l/s)

N : Número de horas de bombeo

Para la selección del diámetro de las tuberías se tendrá en cuenta la Tabla 18, considerando que se utilizarán tuberías de PVC C-10. En cuanto al criterio de selección, se buscará minimizar lo más posible las pérdidas de carga a lo largo de estas.

El diámetro mínimo que deberán tener las tuberías está dado por:

$$D = 0.96 * \left(\frac{N}{24}\right)^{0.25} * (Q_b^{0.45})$$

Es importante también, determinar la potencia de la bomba necesaria para alcanzar la altura total de la línea, la cual está dada por:

$$Pot = \frac{Q_b * H_{dt}}{76 * \frac{\eta}{100}}$$

Donde:

Pot: Potencia de la bomba (HP)

H_{dt} : Altura dinámica total (m)

η : Eficiencia de la bomba (%)

La altura H_{dt} a su vez está compuesta por:

$$H_{dt} = H_{g \text{ succión}} + H_{f \text{ succión}} + H_{g \text{ impulsión}} + H_{f \text{ impulsión}} + PS$$

Donde:

$H_{g \text{ succión}}$: Altura del eje de la bomba por encima del nivel del agua (m)

$H_{f \text{ succión}}$: Pérdidas de carga en la tubería de succión (m)

$H_{g \text{ impulsión}}$: Altura del eje de la bomba hasta la entrada al reservorio (m)

$H_{f \text{ impulsión}}$: Pérdidas de carga en la tubería de impulsión (m)

PS: Presión de servicio (2.0 m)

De igual forma, las pérdidas de carga se dividen en:

$$H_f = H_{f \text{ línea}} + H_{f \text{ accesorios}}$$

Donde:

$H_{f \text{ línea}}$: Pérdida de carga lineal a lo largo de la tubería (m)

$H_{f \text{ accesorios}}$: Pérdida de carga puntual dada en los accesorios (m)

Para el cálculo de las pérdidas de carga lineales, se hará uso de la ecuación de Hazen – Williams:

$$Q = 0.2785 * C * D^{2.63} * S_f^{0.54}$$

Donde:

Q: Caudal que transporta la tubería (m³/s), se emplea el caudal de bombeo Q_b

C: Coeficiente de Hazen – Williams que depende de la rugosidad de la tubería (Para PVC, C = 150)

D: Diámetro de la tubería (m)

S_f: Pendiente o pérdida de carga por unidad de longitud de la tubería (m/m)

Luego:

$$H_{f \text{ línea}} = S_f * L$$

Donde:

L: Longitud de la tubería (m)

Las pérdidas de carga en accesorios se calculan con la siguiente fórmula:

$$H_{f \text{ accesorios}} = k * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

k: Coeficiente que depende del tipo de accesorio

v: Velocidad media del agua en (m/s)

g: Gravedad (9.81 m/s²)

La velocidad media de la tubería se puede determinar dividiendo el caudal que transporta por el área del conducto:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Donde:

A: Área de la tubería (m²) y está dada por:

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

De esta manera se obtienen los siguientes resultados de la Tabla 31.

Tabla 31. Cálculos en las líneas de impulsión

Parámetro	Sistema 1	Sistema 2	Und
N° de horas de bombeo	6.00	6.00	h
H _g succión	1.19	1.32	m
Caudal de bombeo	4.00	4.00	m ³ /s
Diámetro de la succión (diámetro superior a de la bomba)	0.0542	0.0542	m
Velocidad succión	1.73	1.73	m/s
S _f línea succión	0.0529	0.0529	m/m
Longitud de succión	1.16	1.16	m
H _f línea de succión	0.0614	0.0614	m
H _f accesorios en la succión	0.4289	0.4289	m
H _f succión = H _f línea + H _f accesorios	0.4903	0.4903	m
H _g impulsión	84.93	69.37	m
Diámetro mínimo de la impulsión	0.0581	0.0581	m
Diámetro comercial escogido de impulsión en PVC C-10	0.1520	0.1032	m
Velocidad impulsión	0.22	0.48	m/s
S _f línea impulsión	0.0003	0.0023	m/m
Longitud de impulsión	7258.17	575.44	m
H _f línea de impulsión	2.5306	1.3226	m
H _f accesorios en la impulsión	0.0267	0.1259	m
H _f impulsión = H _f línea + H _f accesorios	2.5574	1.4484	m
Altura dinámica total	91.17	74.63	m
Potencia de la bomba	8.00	6.55	HP
Potencia de la bomba comercial	12.00	7.50	HP

Nota. Adaptado de Anexo 1-Agua de la RM-192-2018 VIVIENDA (2018)

Así, se necesitará implementar tuberías de diámetro comercial de 6" para el sistema 1 y de 4" para el sistema 2 para tener la menor pérdida de carga, también se deberán implementar válvulas de purga en los tramos de cota más baja debido a la poca velocidad en las tuberías para facilitar su limpieza, además de válvulas de aire en los puntos más altos.

4.2.4 Reservorios

Para el cálculo del volumen de almacenamiento, se empleará la siguiente ecuación:

$$V_a = Q_p * 86.4 * V_{reg}$$

Donde:

V_a: Volumen de almacenamiento (m³)

Q_p: Caudal promedio anual de diseño (l/s)

V_g: Volumen de regulación (se recomienda 25% si no existe información previa)

En este caso, los reservorios serán de forma cuadrada, por lo que se tiene los siguientes resultados señalados en la Tabla 32 y las Figuras 70 y 71.



Capítulo 5

Presupuesto referencial

Para tener una referencia del costo del proyecto, se debe elaborar un presupuesto referencial en el que se tengan en cuenta los costos, tanto de inversión, como de funcionamiento (Ordinola, 2019).

5.1 Costos de inversión

Los costos de inversión son aquellos relacionados con la construcción de los diferentes componentes del sistema de abastecimiento de agua potable.

Para la estimación de los precios de inversión correspondientes al presente proyecto se han utilizado como referencia presupuestos recientes de diversos expedientes técnicos pertenecientes a sistemas de agua potable en la zona de Tambogrande, teniendo como resultado los siguientes costos referenciales mostrados en la Tabla 33.

Tabla 33. Costos de inversión del proyecto

	Componente	Costo
Captación	Barraje fijo	S/ 28,833.28
	Cerco perimétrico captación	S/ 1,806.40
		S/ 30,639.68
PTAP	Filtro lento	S/ 47,578.48
	Sistema de desinfección	S/ 14,694.05
	Cisterna	S/ 36,647.30
	Sistema de bombeo	S/ 16,883.57
	Cerco perimétrico PTAP	S/ 95,705.32
		S/ 211,508.72
Sistema 1	Línea de impulsión	S/ 375,415.26
	Línea de aducción	S/ 4,364.77
	Reservorio	S/ 190,044.15
	Cerco perimétrico reservorio	S/ 12,136.86
	Redes de distribución	S/ 162,275.22
	Conexiones domiciliarias	S/ 39,105.98
		S/ 783,342.24

Componente		Costo
Sistema 2	Línea de impulsión	S/ 23,916.42
	Línea de aducción	S/ 9,643.67
	Reservorio	S/ 292,278.00
	Cerco perimétrico reservorio	S/ 13,972.27
	Redes de distribución	S/ 675,296.97
	Conexiones domiciliarias	S/ 110,114.20
		S/ 1,125,221.54
Total de inversión		S/ 2,150,712.18

5.2 Costos de funcionamiento

Son los gastos necesarios para garantizar el buen trabajo de las instalaciones de los diferentes componentes del sistema. Dentro de estos se encuentran los gastos de operación, mantenimiento, administración y reposición de los equipos (Ordinola, 2019).

La Tabla 34 contiene los precios estimados necesarios para el funcionamiento del sistema calculados en base a proyectos similares en la zona de estudio:

Tabla 34. Costos de funcionamiento del proyecto

Costo anual de funcionamiento	
Operación	S/ 9,245.00
Mantenimiento	S/ 4,665.00
Administración	S/ 3,025.00
Reposición de equipos	S/ 2,500.00
Total	S/ 19,435.00

Conclusiones

Después de haber realizado el análisis de la situación actual y el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para los tres centros poblados en mención, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

El acceso al recurso del agua potable es de vital importancia para todas las personas, las cuales al verse negadas de este beneficio idean soluciones rústicas que en la mayoría de ocasiones suelen ser perjudiciales para la salud, lo que demuestra la importancia de este tipo de proyectos que garantizan la llegada de agua de calidad hacia todos los pobladores.

Es importante determinar correctamente las características iniciales de la zona que abarcará el proyecto, para de esta manera establecer de manera adecuada el tipo de sistema y los diferentes componentes a utilizar en el sistema de abastecimiento.

Debido a que los caseríos que forman parte del proyecto poseen poblaciones no muy numerosas (128, 98 y 257 habitantes), y las dotaciones proporcionadas por las normativas que rigen este tipo de proyectos son muy bajas (60 l/hab.d); los caudales obtenidos para el diseño registran valores muy pequeños, inferiores a 1.0 l/s, lo que conlleva a bajas velocidades en el diseño de los diferentes componentes.

Con ayuda del software WaterCAD se realizó con éxito el modelamiento hidráulico de las redes de distribución de los dos sistemas planteados para este proyecto. Obteniendo como resultado que ambos sistemas propuestos garantizan una presión de servicio mayor a 5 m.c.a y menor a 60 m.c.a en cualquier punto de estos, cumpliendo con los límites establecidos para el ámbito rural. Cabe destacar que en el sistema 2 se obtuvieron presiones mayores debido a la disponibilidad de una zona más elevada para la ubicación del reservorio; mientras que en el sistema 1 fue necesaria la implementación de un reservorio elevado, a consecuencia de la falta de terrenos con mayor altitud, para asegurar cumplir con la presión mínima para los usuarios.

Asimismo, por medio del software se logró optimizar los diámetros de las tuberías a utilizar, de manera que cumplan los requisitos establecidos y minimicen los costos de inversión para su instalación. Es así que se propone el uso de tuberías PVC C-10 Ø 1" para las líneas de aducción de ambos sistemas. En cuanto a las redes principales se consideran tuberías PVC C-10 Ø 1" para el sistema 1, y PVC C-10 Ø 1" y 1 ½" para el sistema 2. Además, en las redes

secundarias prevalece el uso de tuberías PVC C-10 $\varnothing \frac{3}{4}$ ", siendo que el sistema 1 en su totalidad requiere de este diámetro, mientras que el sistema 2 hace uso de tuberías PVC C-10 $\varnothing \frac{3}{4}$ " y 1".

Con dichos diámetros se alcanzó a cubrir los límites determinados de velocidades en el sistema 2, esto debido a que este transporta un caudal mayor al del sistema 1; para el cual será necesaria la implementación de válvulas de purga para facilitar la limpieza de las tuberías en sus tramos críticos.

Tomando como principal factor el impacto económico, se optó por considerar una Planta de Tratamiento de Agua Potable encargada de suministrar este recurso a los tres centros poblados a través de dos líneas de impulsión que conectan con dos reservorios, ya que de esta manera se logran reducir los costos de inversión, operación y mantenimiento.

Se determinó como única fuente de abastecimiento la quebrada La Huaca, cuyas aguas serán aprovechadas a través de un barraje fijo y se estableció también que la PTAP debe estar conformada por un filtro lento y un sistema de desinfección para garantizar la mejor calidad del agua para los habitantes de los caseríos.

Para el abastecimiento de la población, se ha contemplado un reservorio elevado de 5 m³ para el sistema 1 y uno de 10 m³ para el sistema 2, los cuales serán abastecidos por una cisterna de 20 m³ que se colocará en la PTAP.

Ejecutar el proyecto planteado conllevaría un monto de inversión aproximado de S/ 2,150,712.18, el cuál además requeriría gastos anuales de S/ 19,435.00 para asegurar el buen funcionamiento de todos los componentes.

Recomendaciones

De manera complementaria a las conclusiones, se hace las siguientes recomendaciones:

Se recomienda que, además de utilizar como referencia la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para sistemas de Saneamiento en el ámbito Rural (2018), se debe realizar un estudio local de la demanda de agua, ya que dichas dotaciones recomendadas por la norma son muy pequeñas considerando que se utilizan mayormente para el diseño de sistemas en centros poblados con pocos habitantes.

Se debe escoger zonas de terreno elevado para la ubicación de los reservorios, para que de esta manera se facilite la obtención de presiones de servicio superiores a el límite establecido.

Se recomienda previo al modelado en WaterCAD, realizar el trazado de las redes que distribuirán el agua potable, de tal forma que lleguen a todas las viviendas que conformarán el sistema, y tratando que estas sigan aquellas rutas de cota más baja, para que el agua llegue a estas zonas con una mayor presión de servicio.

En caso resulte imposible cumplir con los requisitos de velocidad mínimos, se debe asegurar la instalación de válvulas de purga en aquellos tramos críticos, de manera que resulte más fácil realizar la limpieza de las tuberías en estas zonas.

Para minimizar los costos del proyecto, se debe considerar en la medida que sea posible, colocar en el modelado de las redes los diámetros de tuberías más pequeños existentes comercialmente y que sean admitidos por la normativa.

Se debe realizar un correcto estudio de fuentes de agua, que refleje las verdaderas condiciones del peor escenario que puede presentar la fuente de abastecimiento, para así determinar las unidades de tratamiento necesarias para la potabilización del agua.



Referencias bibliográficas

- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Manual: Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico*. Lima.
- Bentley Advancing Infrastructure. (2017). *WaterCAD CONNECT Edition, Modelado y gestión de sistemas de distribución de agua*.
- Comisión Nacional del Agua. (s.f.). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento*. México D.F.
- Comisión Nacional del Agua. (s.f.). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales - Zonas rurales, periurbanas y desarrollos ecoturísticos*. México D.F.
- Dirección Regional de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Plan regional de saneamiento Piura 2018 - 2021*. Piura.
- Doroteo Calderón, F. R. (2014). *Diseño del sistema de agua potable, conexiones domiciliarias y alcantarillado del asentamiento humano "Los Pollitos" - Ica, usando los programas Watercad y Sewercad*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Fondo Perú - Alemania. (2017). *Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural*. Lima: Cooperación Alemana.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Piura - Resultados definitivos - Tomo I*. Lima.
- LENNTECH. (s.f.). *Historia del tratamiento de agua potable*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>
- Lizana, P. (2018). *Tratamiento de aguas residuales para el caserío Villa Palambra*. Piura: Universidad de Piura.
- Lossio, M. (2012). *Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones*. Piura: Universidad de Piura.

- Magne, F. (2008). *Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asigantura de Ingeniería Sanitaria I*. Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *NORMA IS.010. Instalaciones sanitarias en edificaciones*. Lima: El Peruano.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *NORMA OS.010. Captación y conducción de agua para el consumo humano*. Lima: El Peruano.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *NORMA OS.020. Planta de tratamiento de agua para consumo humano*. Lima: El Peruano.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *NORMA OS.030. Almacenamiento de agua para consumo humano*. Lima: El Peruano.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *NORMA OS.040. Estaciones de bombeo de agua para consumo humano*. Lima: El Peruano.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *NORMA OS.100. Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria*. Lima: El Peruano.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *NORMA OS.050. Redes de distribución de agua para consumo humano*. Lima: El Peruano.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *DATASS: Modelo para la toma de decisiones en saneamiento, sistema de diagnóstico sobre abastecimiento de agua y saneamiento en el ámbito rural*. Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma técnica de diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Lineamientos de Intervención Social en proyectos de saneamiento formulados y ejecutados por el PNSR en el marco del Invierte.pe*. Lima.
- Morante, C. (2019). *Rediseño del sistema de abastecimiento de agua potable en la localidad de Són dor, Huancabamba*. Piura: Universidad de Piura.
- Oblitas de Ruiz, L. (2010). *Servicios de agua potable y saneamiento en el Perú: beneficios potenciales y determinantes del éxito*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Ordinola, E. (2019). *Diseño de la planta de tratamiento de agua potable para tres centros poblados del distrito de Ignacio Escudero*. Piura: Universidad de Piura.
- Orellana, J. (2005). *Características del agua potable*. Rosario: UTN - FRRO.

- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra: Ediciones de la OMS.
- Pavco . (2020). *Tuberías y conexiones de PVC-U*.
- PRONASAR. (2004). *Criterios para la selección de opciones técnicas y niveles de servicio en sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento en zonas rurales*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- PRONASAR. (2004). *Parámetros de diseño de infraestructura de agua y saneamiento para centros poblados rurales*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Romero Rojas, J. (1999). *Potabilización del agua*. México D.F.: Alfaomega Grupo Editor S.A.
- SEDAPAR. (s.f.). *Producción del agua potable*. Obtenido de <https://www.sedapar.com.pe/portal-doctor/el-agua/produccion-del-agua-potable/#>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2020). *Benchmarking regulatorio de las empresas prestadoras 2019*. Lima.
- Vargas Vásquez, L. D. (2020). *Diseño de redes de agua potable y alcantarillado de la comunidad campesina La Ensenada de Collanac, distrito de Pacachamac mediante el uso de los programas Watercad y Sewercad*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Wendorff, R. Y. (2019). *Agua y fortalecimiento del núcleo familiar como base del desarrollo social y económico del Perú*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.



Apéndices





Apéndice A. Padrón de usuarios

A.1. Carrizalillo

Tabla A.1. Padrón de usuarios de Carrizalillo

Comunidad:		Carrizalillo	Distrito: Tambogrande			Provincia: Piura	Departamento: Piura			
N°	Apellidos y nombres (jefe de familia o asociado de vivienda)	Código de vivienda	Cantidad de miembros			¿Tiene conexión domiciliaria?		¿Tiene UBS?		
			H	M	Total	Sí	No	Sí	No	
1	Henry Peña	01	2	1	3		X		X	
2	Peña Pintado Guzmán	02	4	2	6		X		X	
3	Peña Vela Harold Adolfo	03	2	1	3		X		X	
4	Sánchez Castillo Carlos Juan	04	1		1		X		X	
5	Peña Almestar Carlota	05		2	2		X		X	
6	Gómez Carmen Rosa Elena	06	2	4	6		X		X	
7	Sánchez Gómez Manfredo	07	2	1	3		X		X	
8	Sánchez Gómez Hernán	08	1	2	3		X		X	
9	Carhuayazo Juárez Felicita	09	2	2	4		X		X	
10	Hugo Sánchez Almestar	10	3		3		X		X	
11	Sánchez Almestar Marita Yanet	11	2	1	3		X		X	
12	Vega Sánchez Luis Fernando	12	1	1	2		X		X	
13	Sánchez Gómez Enerita	13	2	1	3		X		X	
14	Vega Sánchez Ramón Eduardo	14	3		3		X		X	
15	Vega Sánchez Carlos	15	3		3		X		X	
16	Cocina	16	-	-	-					
17	Juárez Huaygua Kely Lourdes	17	2	3	5		X		X	

Comunidad:		Carrizalillo	Distrito: Tambogrande			Provincia: Piura	Departamento: Piura			
N°	Apellidos y nombres (jefe de familia o asociado de vivienda)	Código de vivienda	Cantidad de miembros			¿Tiene conexión domiciliaria?		¿Tiene UBS?		
			H	M	Total	Sí	No	Sí	No	
18	Castillo Villegas Marleni	18	1	3	4		X		X	
19	Patiño Calle Ruly	19	4	2	6		X		X	
20	Cercado Muñoz Karhol	20	1	2	3		X		X	
21	Patiño Calle Ytalo	21	2	3	5		X		X	
22	Sánchez Castillo José Sadal	22	4	1	5		X		X	
23	Peña Almestar Doralcida	23	2	2	4		X		X	
24	Palacios Castillo Carlos Alberto	24	1		1		X		X	
25	Patiño Sánchez Manuel Francisco	25	3	1	4		X		X	
26	Salón Codelo	26	-	-	-					
27	Patiño Ácaro De Vega Lucinda Yajani	27	2	2	4		X		X	
28	Sánchez Castillo Lucinda	28	2	3	5		X		X	
29	Patiño Calle Ruly	29	1		1		X		X	
30	Sánchez Rivera Tatiana Jajaira	30		2	2		X		X	
31	Sánchez Rivera Wualdo Walter	31	2	3	5		X		X	
32	Sánchez Salcedo Rodolfo Omar	32	1	1	2		X		X	
33	Patiño Calle Leonel	33	3		3		X		X	
34	Joel Vega	34	1	1	2		X		X	
35	Richard Sánchez Almestar	35	2	3	5		X		X	
36	Javier Sánchez Almestar	36	1	1	2		X		X	
37	David Patiño	37	2	1	3		X		X	
38	Michael Steven Patiño Peña	38	1		1		X		X	

Comunidad:		Carrizalillo	Distrito: Tambogrande			Provincia: Piura	Departamento: Piura			
N°	Apellidos y nombres (jefe de familia o asociado de vivienda)	Código de vivienda	Cantidad de miembros			¿Tiene conexión domiciliaria?		¿Tiene UBS?		
			H	M	Total	Sí	No	Sí	No	
39	Joel Pulache	39	3	1	4		X		X	
40	Juanita Del Rosario Vega Valdiviezo	40	2	2	4		X		X	

A.2. Cerro de Leones

Tabla A.2. Padrón de usuarios de Cerro de Leones

Comunidad:		Cerro de Leones	Distrito: Tambogrande			Provincia: Piura	Departamento: Piura			
N°	Apellidos y nombres (jefe de familia o asociado de vivienda)	Código de vivienda	Cantidad de miembros			¿Tiene conexión domiciliaria?		¿Tiene UBS?		
			H	M	Total	Sí	No	Sí	No	
1	Juárez De Carhuayaso Lucrecia	01		1	1		X		X	
2	Carhuayazo Juárez José Benito	02	1	3	4		X		X	
3	Sin Construir	03					X		X	
4	Carhuayazo Juárez María Francisca	04	1	2	3		X		X	
5	Sin Construir	05					X		X	
6	Arrunategui Villegas Leydy Vanessa	06	1	2	3		X		X	
7	Juárez Panra Praxedes	07	1	1	2		X		X	
8	Juárez Panta Mercedes	08		1	1		X		X	
9	Juárez Panta Elsa	09	4	4	8		X		X	
10	Sin Construir	10					X		X	
11	Gianmarco Nima Ruiz	11	1	1	2		X		X	

Comunidad:		Cerro de Leones		Distrito: Tambogrande		Provincia: Piura		Departamento: Piura	
N°	Apellidos y nombres (jefe de familia o asociado de vivienda)	Código de vivienda	Cantidad de miembros			¿Tiene conexión domiciliaria?		¿Tiene UBS?	
			H	M	Total	Sí	No	Sí	No
12	Ruiz Ruiz José Andrés	12	1		1		X		X
13	Ruiz Juárez Dania Gloria	13	3	3	6		X		X
14	Sin Construir	14					X		X
15	Vaso De Leche	15	-	-	-		X		X
16	Codeo	16	-	-	-		X		X
17	Comedor	17	-	-	-		X		X
18	Salón Común	18	-	-	-		X		X
19	Salón Común	19	-	-	-		X		X
20	Salón Común	20	-	-	-		X		X
21	Cruz Palacios Santos María	21	2	3	5		X		X
22	Alama Córdova Iris Ingri Dayana	22	1	2	3		X		X
23	Juárez Gómez Lesvia Vanessa	23	1	2	3		X		X
24	Juárez Vásquez Juan	24	2		2		X		X
25	Calle Galecio Gladys	25	3	3	6		X		X
26	Salvador Villegas Gamaniel	26	3	2	5		X		X
27	Juárez Torres Maximiliano	27	3	2	5		X		X
28	Salcedo Montero Jorge Luis	28	1		1		X		X
29	Salcedo Juárez Julio	29	2	4	6		X		X
30	Salcedo Montero Mary Elizabeth	30		1	1		X		X
31	Salcedo Yacsahuache Catalino	31	1	2	3		X		X
32	Salcedo Juárez Mariano	32	2	2	4		X		X

Comunidad: Cerro de Leones		Distrito: Tambogrande		Provincia: Piura		Departamento: Piura			
N°	Apellidos y nombres (jefe de familia o asociado de vivienda)	Código de vivienda	Cantidad de miembros			¿Tiene conexión domiciliaria?		¿Tiene UBS?	
			H	M	Total	Sí	No	Sí	No
33	Salcedo Juárez Catalino	33	1		1		X		X
34	Juárez Torres Santos Eugenio	34	1		1		X		X
35	Castillo Córdova Rosa	35	1	3	4		X		X
36	Aguilar Arévalo Sara	36	1	1	2		X		X
37	Juárez Aguilar Keiko Sofía	37	2	1	3		X		X
38	Sin Construir	38					X		X
39	Juárez Sánchez Otoniel	39	1		1		X		X
40	Villazán Huanaquiri Alsine Hortencia	40	3	1	4		X		X
41	Flores Panta Jackeline Del Rosario	41	2	1	3		X		X
42	Aguilar De Juárez Augusta	42	3	3	6		X		X
43	Sin Construir	43					X		X
44	Arévalo Galecio Santos Martina	44	1	1	2		X		X
45	Palacios Arrunategui Juana	45	3	2	5		X		X
46	Aguilar Arévalo Luis Arcenio	46	2	1	3		X		X
47	Becerra Villazán Esly Lorena	47	3	1	4		X		X
48	Ramírez Peña Digna Emérita	48	3	3	6		X		X
49	Siancas Zeta Diana Carolina	49	1	1	2		X		X
50	Juárez Sánchez José Antonio	50	1		1		X		X
51	Juárez Sánchez De Arévalo Marita Mercedes	51	2	3	5		X		X
52	Juárez Panta Nicolás	52	1	2	3		X		X
53	Palacios Erazo María Flor	53	3	2	5		X		X

Comunidad:		Cerro de Leones		Distrito: Tambogrande		Provincia: Piura		Departamento: Piura	
N°	Apellidos y nombres (jefe de familia o asociado de vivienda)	Código de vivienda	Cantidad de miembros			¿Tiene conexión domiciliaria?		¿Tiene UBS?	
			H	M	Total	Sí	No	Sí	No
54	Alex Cruz Alex Cristhian	54	2	2	4		X		X
55	Palacios Arrunategui Orfelinda	55	3	1	4		X		X
56	Cruz Palacios Petronila	56	2	1	3		X		X
57	Cruz Palacios Cresencia	57	2	5	7		X		X
58	Ocurin Rengifo Verónica	58	3	2	5		X		X
59	Juárez Castillo Hortencia	59	1	4	5		X		X
60	Alexander Juárez Roña	60	1	2	3				X
61	Roña Piñin Flor De María	61	4	1	5		X		X
62	I.E. 1416 - Inicial	62	-	-	-				X
63	Salvador Villegas Fudima	63	1	1	2		X		X
64	Teresa Torres Pulache	64	1	1	2		X		X
65	Gómez Gómez De Juárez María	65	1	1	2		X		X
66	Cruz Castillo Santos Félix	66		1	1		X		X
67	Flores More Claricsa	67	1	2	3		X		X
68	Juárez García María Esperanza	68		1	1		X		X
69	Carmen De Juárez Cruz Noelia	69	1	1	2		X		X
70	Arrunategui Arévalo Marilu	70	2	2	4		X		X
71	Cruz Palacios Cruz Marina	71	1	2	3		X		X
72	Juárez Cruz Maryuri Isabel	72	2	1	3		X		X
73	Juárez García María Esperanza	73		1	1		X		X
74	Valdiviezo Juárez Alex Joel	74	1		1		X		X

Comunidad:		Cerro de Leones		Distrito: Tambogrande		Provincia: Piura		Departamento: Piura	
N°	Apellidos y nombres (jefe de familia o asociado de vivienda)	Código de vivienda	Cantidad de miembros			¿Tiene conexión domiciliaria?		¿Tiene UBS?	
			H	M	Total	Sí	No	Sí	No
75	Juárez García Gladys	75	2	3	5		X		X
76	I.E. 15478 - Primario	76	-	-	-				X
77	Palacios Juárez Floro	77	4	1	5		X		X
78	Palacios Arias Florentino	78	1	3	4		X		X
79	Martínez Carmen Flora	79	2	1	3		X		X
80	Palacios Martinez José Manuel	80	1	1	2		X		X
81	Marina Carhuayazo Castillo	81	1	2	3		X		X
82	Castillo Castillo Lindomera	82	1	3	4		X		X
83	Carhuayaso Juárez María Cristina	83	2	2	4		X		X
84	Valdiviezo Cruz Mercedes De Los Milagros	84	3	4	7		X		X
85	Villegas Valladolid Carmen Rosa	85	2	1	3		X		X
86	Sánchez De Gonzales Luzdina	86	3	1	4		X		X
87	Gómez Juárez María Leopoldina	87	1	1	2		X		X
88	Gómez Castillo César Augusto	88	3	1	4		X		X
89	Palacios Arévalo Cervando	89	1		1		X		X
90	Palacios Peña Froilán	90	1		1		X		X
91	Chinchay Saavedra Narda Pamela	91	1	2	3		X		X
92	Sin Construir	92							
93	Deshabitada	93					x		x
94	Gómez De Arrunategui Rosa Edita	94	1	1	2		X		X
95	Cancha De Fútbol	95	-	-	-				

Comunidad:		Cerro de Leones		Distrito: Tambogrande		Provincia: Piura		Departamento: Piura	
N°	Apellidos y nombres (jefe de familia o asociado de vivienda)	Código de vivienda	Cantidad de miembros			¿Tiene conexión domiciliaria?		¿Tiene UBS?	
			H	M	Total	Sí	No	Sí	No
96	Juan Luis García Gómez	96	1	2	3		X		X

A.3. San Pedro

Tabla A.3. Padrón de usuarios de San Pedro

Comunidad:		San Pedro		Distrito: Tambogrande		Provincia: Piura		Departamento: Piura	
N°	Apellidos y nombres (jefe de familia o asociado de vivienda)	Código de vivienda	Cantidad de miembros			¿Tiene conexión domiciliaria?		¿Tiene UBS?	
			H	M	Total	Sí	No	Sí	No
1	García Córdova Edilberto	01	1	1	2		X		X
2	Velásquez García Saturdino	02	2	2	4		X		X
3	Segundo Moreno Arizmendiz	03	3	3	6		X		X
4	Luis Jara Rosales	04	1	2	3		X		X
5	Arcadio Yovera More	05	2	1	3		X		X
6	Córdova Córdova Aida Yohany	06		1	1		X		X
7	Deshabitada	07					X		X
8	Deshabitada	08					X		X
9	Deshabitada	09					X		X
10	Deshabitada	10					X		X
11	Deshabitada	11					X		X
12	Deshabitada	12					X		X

Comunidad:		San Pedro	Distrito: Tambogrande			Provincia: Piura	Departamento: Piura			
N°	Apellidos y nombres (jefe de familia o asociado de vivienda)	Código de vivienda	Cantidad de miembros			¿Tiene conexión domiciliaria?		¿Tiene UBS?		
			H	M	Total	Sí	No	Sí	No	
13	Deshabitada	13					X		X	
14	Eder Zurita	14	1	1	2		X		X	
15	Aguilar López Martina	15	5	4	9		X		X	
16	Córdova García Ymelda	16	4	3	7		X		X	
17	Córdova García Victoria	17	2	2	4		X		X	
18	López Córdova María Silvia	18	1	3	4		X		X	
19	Moreno Chanta Edy Liliana	19	1	2	3		X		X	
20	Viteri Girón Flor De María	20	1	4	5		X		X	
21	Arévalo Girón José Santo	21	1	1	2		X		X	
22	Vitery Bereche Joaquín	22	1	1	2		X		X	
23	Chumacero Llensahuacha Mariela	23	1	3	4		X		X	
24	Carmelo Castillo Córdova	24	4	3	7		X		X	
25	Carmen Arévalo Nancy Del Pilar	25	2	1	3		X		X	
26	Carmen Peña María	26	3	2	5		X		X	
27	García Córdova Leonor	27	2	3	5		X		X	
28	Ana Zurita	28	1	1	2		X		X	
29	Arévalo De Carmen Luz Vinda	29	2	2	4		X		X	
30	Carmen Arévalo Rosa Marleni	30	4	1	5		X		X	
31	Salón Usos Múltiples	31	-	-	-		X		X	
32	Salón De Madres	32	-	-	-		X		X	
33	I.E. Divino Niño Jesús – Inicial no escolarizado	33	-	-	-		X		X	

Comunidad:		San Pedro		Distrito: Tambogrande		Provincia: Piura		Departamento: Piura	
N°	Apellidos y nombres (jefe de familia o asociado de vivienda)	Código de vivienda	Cantidad de miembros			¿Tiene conexión domiciliaria?		¿Tiene UBS?	
			H	M	Total	Sí	No	Sí	No
34	Zurita Carmen Pedro	34	1	1	2		X		X
35	Pintado Calle Elva	35	2	2	4		X		X
36	Calderón Yahuana Rosa Elva	36	2	3	5		X		X
37	Gilberto Raymundo Panta	37	2	1	3		X		X
38	Anita Nima Juárez	38	2	2	4		X		X
39	I.E. 20450 - Primario	39	-	-	-		X		X

Descripción	# VIV.	Qip	# I.S.	Aforo I.S.	Qis	# I.E.	Pob. I.E.	Qie	Qi
VIVIENDA	1	0.00566							0.00566
	107	0.606	9		0.089	4	59	0.027	0.722

Apéndice C. Resultados modelamiento hidráulico

C.1 Sistema 1

C.1.1 Reporte de nodos

Tabla C.1. Reporte de nodos del sistema 1

Elemento	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Gradiente hidráulico (m)	Presión (m.c.a)
Nodo-1	227.26	0.041	237.84	11
Nodo-2	226.2	0.017	237.77	12
Nodo-3	227.18	0.017	237.68	10
Nodo-4	225.31	0.006	237.77	12
Nodo-5	214.49	0.000	237.22	23
Nodo-6	217.5	0.006	237.22	20
Nodo-7	224.32	0.011	237.58	13
Nodo-8	214.26	0.000	237.2	23
Nodo-9	221.29	0.006	237.2	16
Nodo-10	214.26	0.006	237.18	23
Nodo-11	221.83	0.006	237.18	15
Nodo-12	223.1	0.005	237.63	15
Nodo-13	218.28	0.011	237.83	20
Nodo-14	218.74	0.006	237.63	19
Nodo-15	216.52	0.023	237.4	21
Nodo-16	205.29	0.029	237.34	32
Nodo-17	224.92	0.017	237.52	13
Nodo-18	209.03	0.000	237.36	28
Nodo-19	216	0.006	237.36	21
Nodo-20	201.19	0.006	237.4	36
Nodo-21	205.89	0.006	237.17	31

C.1.2 Reporte de tuberías

Tabla C.2. Reporte de tuberías del sistema 1

Elemento	Longitud (m)	Nodo de inicio	Nodo de fin	Diámetro (mm)	Material	Coficiente de Hazen-Williams	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
Tubería-1	65	Nodo-10	Nodo-11	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-2	166	Nodo-12	Nodo-15	22.9	PVC	150	0.057	0.14
Tubería-3	445	Nodo-15	Nodo-20	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-4	268	Nodo-18	Nodo-19	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-5	373	Nodo-18	Nodo-5	22.9	PVC	150	0.029	0.07
Tubería-6	406	Nodo-7	Nodo-18	22.9	PVC	150	0.034	0.08
Tubería-7	51	Nodo-5	Nodo-6	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-8	50	Nodo-2	Nodo-4	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-9	62	Nodo-3	Nodo-7	22.9	PVC	150	0.063	0.15

Elemento	Longitud (m)	Nodo de inicio	Nodo de fin	Diámetro (mm)	Material	Coefficiente de Hazen-Williams	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
Tubería-10	64	Nodo-8	Nodo-9	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-11	100	Res-1	Nodo-1	29.4	PVC	150	0.224	0.33
Tubería-12	23	Nodo-1	Nodo-2	29.4	PVC	150	0.171	0.25
Tubería-13	40	Nodo-2	Nodo-3	29.4	PVC	150	0.148	0.22
Tubería-14	87	Nodo-3	Nodo-12	29.4	PVC	150	0.068	0.1
Tubería-15	146	Nodo-12	Nodo-14	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-16	391	Nodo-7	Nodo-17	22.9	PVC	150	0.017	0.04
Tubería-17	99	Nodo-5	Nodo-8	22.9	PVC	150	0.023	0.06
Tubería-18	114	Nodo-8	Nodo-10	22.9	PVC	150	0.017	0.04
Tubería-19	492	Nodo-10	Nodo-21	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-20	94	Nodo-1	Nodo-13	22.9	PVC	150	0.011	0.03
Tubería-21	173	Nodo-15	Nodo-16	22.9	PVC	150	0.029	0.07

C.2 Sistema 2

C.2.1 Reporte de nodos

Tabla C.3. Reporte de nodos del sistema 2

Elemento	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Gradiente hidráulico (m)	Presión (m.c.a)
Nodo-1	150.04	0.000	200.31	50
Nodo-2	149.96	0.006	200.29	50
Nodo-3	150.57	0.000	189.97	39
Nodo-4	150.88	0.006	189.96	39
Nodo-5	162	0.011	190.71	29
Nodo-6	160.37	0.006	190.71	30
Nodo-7	162.02	0.017	190.86	29
Nodo-8	154.13	0.016	189.02	35
Nodo-9	153.69	0.006	189.02	35
Nodo-10	173.04	0.011	204.82	32
Nodo-11	173.13	0.006	204.82	32
Nodo-12	176.01	0.011	205.5	29
Nodo-13	173.18	0.000	205.5	32
Nodo-14	152.98	0.006	188.37	35
Nodo-15	156.26	0.011	188.35	32
Nodo-16	160.16	0.006	191.65	31
Nodo-17	159.49	0.011	191.21	32
Nodo-18	173.14	0.006	205.5	32
Nodo-19	149.59	0.011	189.96	40
Nodo-20	161.82	0.017	190.86	29
Nodo-21	153.57	0.034	187.85	34
Nodo-22	152.73	0.011	187.85	35
Nodo-23	153.55	0.017	189.01	35
Nodo-24	159.87	0.026	190.45	31
Nodo-25	173.16	0.009	204.84	32
Nodo-26	169.94	0.000	205.48	35

Elemento	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Gradiente hidráulico (m)	Presión (m.c.a)
Nodo-27	174.25	0.006	205.48	31
Nodo-28	150.6	0.017	190.04	39
Nodo-29	151.77	0.006	190.04	38
Nodo-30	157.48	0.017	188.34	31
Nodo-31	151.37	0.006	189.07	38
Nodo-32	181.08	0.017	205.42	24
Nodo-33	181.61	0.006	205.41	24
Nodo-34	155.51	0.075	189.67	34
Nodo-35	155.36	0.028	189.49	34
Nodo-36	152.76	0.011	189.96	37
Nodo-37	165.72	0.000	205.46	40
Nodo-38	162.09	0.006	205.44	43
Nodo-39	166.46	0.000	205.44	39
Nodo-40	170.6	0.011	204.98	34
Nodo-41	172.24	0.011	204.97	33
Nodo-42	159.24	0.011	191.21	32
Nodo-43	151.94	0.011	189.97	38
Nodo-44	162.46	0.000	205.67	43
Nodo-45	165.6	0.000	205.64	40
Nodo-46	151.85	0.023	189.46	38
Nodo-47	170.93	0.006	205.45	34
Nodo-48	159.28	0.023	189.45	30
Nodo-49	171.54	0.011	204.81	33
Nodo-50	147.09	0.04	187.66	40
Nodo-51	156.38	0.017	190.42	34
Nodo-52	176.55	0.006	205.41	29
Nodo-53	151.17	0.006	188.35	37
Nodo-54	164.52	0.000	204.84	40
Nodo-55	174.5	0.006	204.84	30
Nodo-56	172.97	0.006	214.06	41
Nodo-57	153.94	0.006	200.28	46
Nodo-58	159.47	0.000	201.52	42
Nodo-59	163.77	0.006	201.52	38
Nodo-60	161.41	0.011	205.41	44
Nodo-61	162.01	0.006	214.05	52
Nodo-62	155.44	0.006	200.3	45
Nodo-63	160.22	0.011	197.85	38
Nodo-64	154.92	0.006	197.84	43
Nodo-65	160.06	0.028	204.59	44

C.2.2 Reporte de tuberías**Tabla C.4. Reporte de tuberías del sistema 2**

Elemento	Longitud (m)	Nodo de inicio	Nodo de fin	Diámetro (mm)	Material	Coficiente de Hazen-Williams	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
Tubería-1	41	Nodo-13	Nodo-18	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-2	30	Nodo-8	Nodo-9	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-3	30	Nodo-10	Nodo-11	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-4	34	Nodo-14	Nodo-15	22.9	PVC	150	0.034	0.08
Tubería-5	66	Nodo-26	Nodo-27	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-6	58	Nodo-21	Nodo-22	22.9	PVC	150	0.011	0.03
Tubería-7	59	Nodo-8	Nodo-23	22.9	PVC	150	0.017	0.04
Tubería-8	67	Nodo-28	Nodo-29	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-9	76	Nodo-15	Nodo-30	22.9	PVC	150	0.017	0.04
Tubería-10	76	Nodo-31	Nodo-8	22.9	PVC	150	0.039	0.09
Tubería-11	86	Nodo-32	Nodo-33	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-12	103	Nodo-37	Nodo-39	22.9	PVC	150	0.017	0.04
Tubería-13	448	Nodo-39	Nodo-60	22.9	PVC	150	0.011	0.03
Tubería-14	85	Nodo-34	Nodo-35	22.9	PVC	150	0.074	0.18
Tubería-15	97	Nodo-28	Nodo-3	22.9	PVC	150	0.04	0.1
Tubería-16	106	Nodo-3	Nodo-43	22.9	PVC	150	0.011	0.03
Tubería-17	112	Nodo-35	Nodo-46	22.9	PVC	150	0.023	0.05
Tubería-18	178	Nodo-15	Nodo-53	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-19	196	Nodo-44	Nodo-54	43.4	PVC	150	0.571	0.39
Tubería-20	858	Nodo-54	Nodo-58	43.4	PVC	150	0.543	0.37
Tubería-21	6	Nodo-1	Nodo-2	43.4	PVC	150	0.531	0.36
Tubería-22	122	Nodo-31	Nodo-14	22.9	PVC	150	0.125	0.3
Tubería-23	133	Nodo-35	Nodo-48	22.9	PVC	150	0.023	0.05
Tubería-24	170	Nodo-40	Nodo-25	22.9	PVC	150	0.043	0.1
Tubería-25	136	Nodo-10	Nodo-49	22.9	PVC	150	0.011	0.03
Tubería-26	156	Nodo-37	Nodo-47	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-27	199	Nodo-32	Nodo-52	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-28	185	Nodo-14	Nodo-21	22.9	PVC	150	0.085	0.21
Tubería-29	202	Nodo-34	Nodo-31	29.4	PVC	150	0.169	0.25
Tubería-30	198	Nodo-56	Nodo-44	29.4	PVC	150	0.71	1.05
Tubería-31	197	Res-1	Nodo-56	29.4	PVC	150	0.722	1.06
Tubería-32	259	Nodo-24	Nodo-28	22.9	PVC	150	0.062	0.15
Tubería-33	48	Nodo-7	Nodo-20	22.9	PVC	150	0.017	0.04
Tubería-34	91	Nodo-16	Nodo-7	22.9	PVC	150	0.157	0.38
Tubería-35	40	Nodo-16	Nodo-17	29.4	PVC	150	0.341	0.5
Tubería-36	161	Nodo-17	Nodo-34	29.4	PVC	150	0.318	0.47
Tubería-37	95	Nodo-17	Nodo-42	22.9	PVC	150	0.011	0.03
Tubería-38	564	Nodo-1	Nodo-62	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-39	1,846	Nodo-63	Nodo-16	43.4	PVC	150	0.503	0.34
Tubería-40	681	Nodo-2	Nodo-63	43.4	PVC	150	0.52	0.35
Tubería-41	268	Nodo-2	Nodo-57	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-42	674	Nodo-54	Nodo-65	22.9	PVC	150	0.028	0.07

Elemento	Longitud (m)	Nodo de inicio	Nodo de fin	Diámetro (mm)	Material	Coefficiente de Hazen-Williams	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
Tubería-43	462	Nodo-56	Nodo-61	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-44	112	Nodo-44	Nodo-45	43.4	PVC	150	0.139	0.09
Tubería-45	656	Nodo-45	Nodo-12	43.4	PVC	150	0.111	0.07
Tubería-46	31	Nodo-12	Nodo-13	43.4	PVC	150	0.071	0.05
Tubería-47	299	Nodo-13	Nodo-40	22.9	PVC	150	0.066	0.16
Tubería-48	429	Nodo-45	Nodo-26	22.9	PVC	150	0.028	0.07
Tubería-49	89	Nodo-26	Nodo-37	22.9	PVC	150	0.023	0.05
Tubería-50	101	Nodo-39	Nodo-38	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-51	236	Nodo-12	Nodo-32	22.9	PVC	150	0.028	0.07
Tubería-52	113	Nodo-40	Nodo-41	22.9	PVC	150	0.011	0.03
Tubería-53	63	Nodo-25	Nodo-10	22.9	PVC	150	0.028	0.07
Tubería-54	210	Nodo-25	Nodo-55	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-55	315	Nodo-58	Nodo-59	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-56	320	Nodo-58	Nodo-1	43.4	PVC	150	0.537	0.36
Tubería-57	587	Nodo-63	Nodo-64	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-58	28	Nodo-7	Nodo-5	22.9	PVC	150	0.123	0.3
Tubería-59	62	Nodo-5	Nodo-24	22.9	PVC	150	0.106	0.26
Tubería-60	28	Nodo-5	Nodo-6	22.9	PVC	150	0.006	0.01
Tubería-61	196	Nodo-24	Nodo-51	22.9	PVC	150	0.017	0.04
Tubería-62	23	Nodo-3	Nodo-4	22.9	PVC	150	0.028	0.07
Tubería-63	86	Nodo-4	Nodo-36	22.9	PVC	150	0.011	0.03
Tubería-64	37	Nodo-4	Nodo-19	22.9	PVC	150	0.011	0.03
Tubería-65	287	Nodo-21	Nodo-50	22.9	PVC	150	0.04	0.1

Apéndice D. Mediciones de caudal en las quebradas de la zona

D.1 Quebrada Huabal

Se ha determinado el caudal a través de la siguiente fórmula:

$$Q = A * V$$

Donde:

$$V = \frac{L}{T}$$

A: sección transversal del curso de agua (m²)

V: velocidad de la masa de agua (m/s)

L: longitud de recorrido (m)

T: tiempo de recorrido (s)

Para determinar la velocidad, se definió una distancia de recorrido. En este caso se estableció un punto de inicio y uno de fin con una longitud de 8 m.

Se realizó la medición del tiempo que tarda un corcho en recorrer la distancia establecida.

Se tomaron puntos topográficos y se determinó que el área de la sección transversal correspondía a 0.29 m².

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las mediciones y el cálculo del caudal.

Tabla D.1. Medición de caudal de la quebrada Huabal

	Área (m ²)	Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (l/s)
1		8.00	21.50	0.37		
2		8.00	21.70	0.36		
3		8.00	22.16	0.37		
4		8.00	21.75	0.38		
5		8.00	21.33	0.38		
Promedio	0.29	8.00	21.69	0.37	0.11	106.99

D.2 Quebrada La Huaca

Siguiendo el mismo procedimiento descrito para la quebrada anterior, considerando un área de sección transversal de 13.20 m², se obtuvo:

Tabla D.2. Medición de caudal de la quebrada La Huaca

	Área (m ²)	Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (l/s)
1		8.00	44.94	0.18		
2		8.00	43.48	0.18		
3		8.00	43.64	0.18		
4		8.00	41.31	0.19		
5		8.00	38.78	0.21		
6		8.00	43.48	0.18		
7		8.00	41.82	0.19		
8		8.00	44.14	0.18		
9		8.00	42.25	0.19		
10		8.00	39.42	0.20		
Promedio	13.20	8.00	21.69	0.19	2.50	2500.21

Apéndice E. Análisis físicos, químicos y bacteriológicos a las fuentes de agua

Tabla E.1. Resultados de los análisis efectuados a las fuentes de agua

Parámetros	Quebrada Huabal en el caserío Carrizalillo	Quebrada La Huaca en el caserío San Pedro	Expresado en:	Métodos de ensayo
Aceites y Grasas	< 0,5	< 0,5	mg/L	APHA 5520 D
Amoniaco-N	< 0,50	< 0,50	mg NH ₃ -N/L	APHA 4500 NH ₃ B, C
Cianuro Libre	< 0,003	< 0,003	mg CN-/L	APHA 4500-CN- J, E
Conductividad Eléctrica	2 323,00	370,50	µmho/cm	APHA 2510 B
Color Verdadero	1	1	UC	APHA 2120 C
Cloruros	130	38	mg Cl-/L	APHA 4500-Cl- C
Demanda Bioquímica de Oxígeno	< 2	< 2	mg DBO/L	APHA 5210 B
Demanda Química de Oxígeno	7	6	mg DQO/L	APHA 5220 D
Dureza Total	803	41	mg CaCO ₃ /L	APHA 2340 C
Fósforo Total	0,038	0,011	mg P/L	APHA 4500-P B, E
Material Flotante de Origen Antropogénico	< 1	< 1	mg/L	APHA 2530 B
Nitratos	1,640	0,420	mg N-NO ₃ -/L	APHA 4500-NO ₃ -B
Nitritos	0,011	0,005	mg N-NO ₂ -/L	EPA 354.1
Oxígeno Disuelto	7,6	7,6	mg/L	APHA 4500-O C
Sólidos Totales Disueltos	1 160	188	mg/L	APHA 2540 C
Sulfatos	220	46	mg SO ₄ ²⁻ /L	APHA 4500-SO ₄ ²⁻ E
Temperatura	20,4	20,5	C°	APHA 2550 B
Turbidez	1,90	0,43	NTU	APHA 2130 B
Microbiológicos				
Coliformes Totales	< 1,8	< 1,8	NMP/100 mL	APHA 9221 B
Coliformes Termotolerantes	< 1,8	< 1,8	NMP/100 mL	APHA 9221 E
Escherichia Coli	< 1,8	< 1,8	NMP/100 mL	APHA 9221 G
Vibrio Cholerae	Ausente	Ausente	A/P	APHA 9260 H
Hidrobiológicos				
Organismos de Vida Libre	1 000	2 000	Organismos/L	APHA 10900 A, B
Metales Totales				
Aluminio	< 0,148	< 0,148	mg/L	APHA 3111 D
Arsénico	< 0,001	0,020	mg/L	APHA 3114 C
Antimonio	< 0,0005	< 0,0005	mg/L	APHA 3111 B
Bario	< 0,19	< 0,19	mg/L	APHA 3111 D
Berilio	< 0,0005	< 0,0005	mg/L	APHA 3111 D
Cadmio	0,009	0,005	mg/L	APHA 3111 B
Cobre	< 0,006	< 0,006	mg/L	APHA 3111 B
Cromo	< 0,010	< 0,010	mg/L	APHA 3111 B
Hierro	0,034	0,015	mg/L	APHA 3111 B

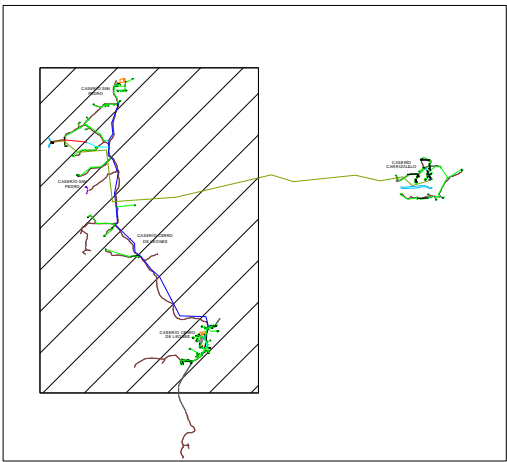
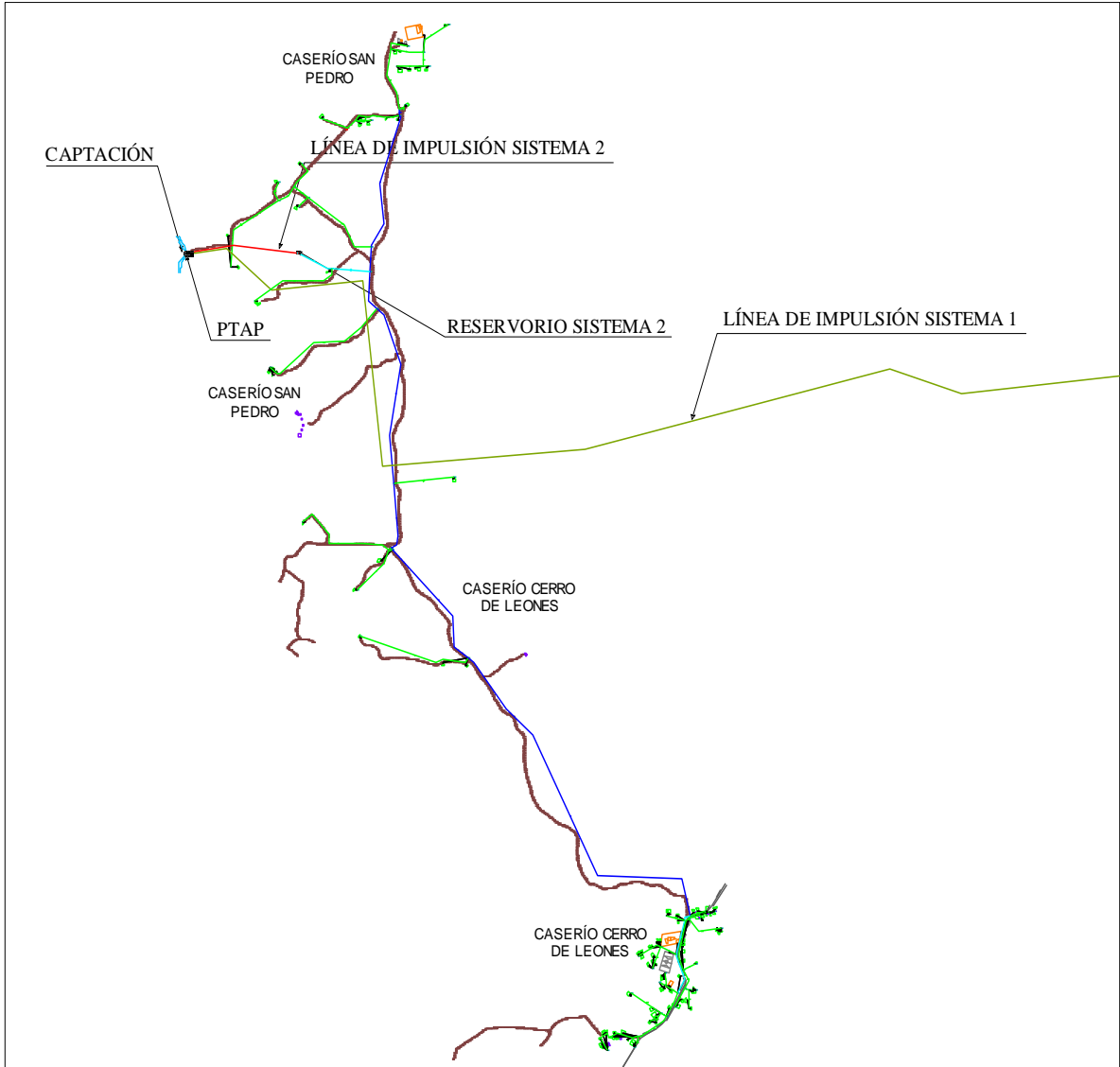
Parámetros	Quebrada Huabal en el caserío Carrizalillo	Quebrada La Huaca en el caserío San Pedro	Expresado en:	Métodos de ensayo
Manganeso	0,007	< 0,005	mg/L	APHA 3111 B
Mercurio	0,0004	< 0,0002	mg/L	APHA 3112 B
Molibdeno	< 0,051	< 0,051	mg/L	APHA 3111 D
Plomo	< 0,011	< 0,011	mg/L	APHA 3111 B
Selenio	< 0,001	< 0,001	mg/L	APHA 3114 C
Uranio	< 0,001	< 0,001	mg/L	APHA 3111 D
Zinc	0,011	< 0,006	mg/L	APHA 3111 B

Planos



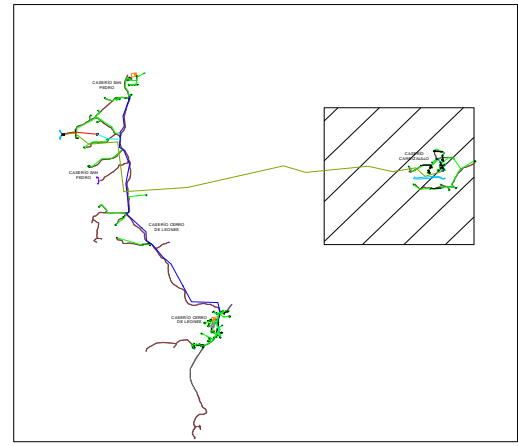
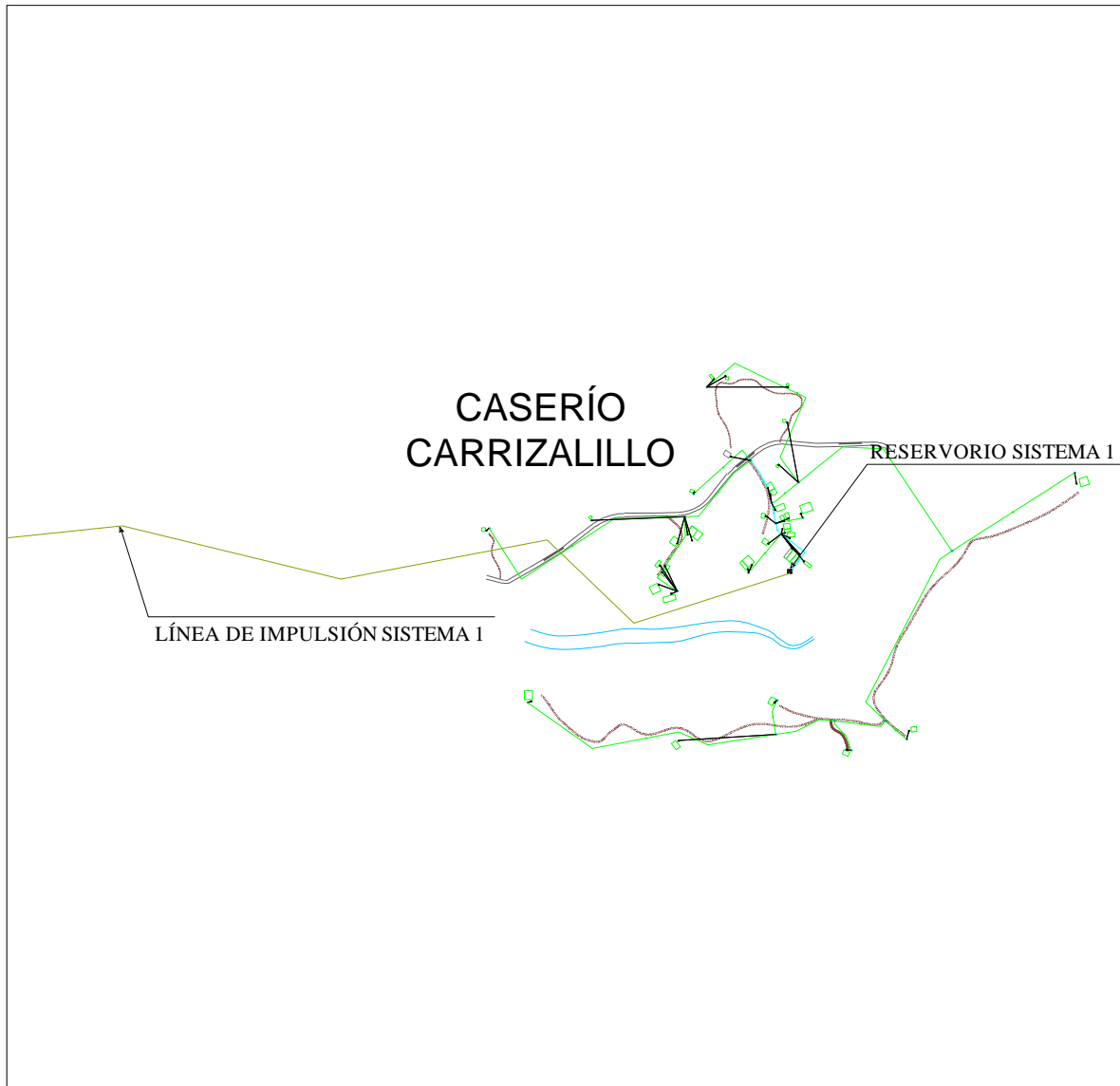


Plano A. Plano General



LEYENDA	
	CAMINOS EXISTENTES
	CARRETERAS EXISTENTES
	QUEBRADAS EXISTENTES
	CASA HABITADA
	CASA DESHABITADA
	INSTITUCIÓN EDUCATIVA
	INSTITUCIÓN SOCIAL
	CONEXIÓN DOMICILIARIA
	LÍNEA IMPULSIÓN Ø 6"
	LÍNEA IMPULSIÓN Ø 4"
	TUBERÍA PVC C-10 Ø 1 1/2"
	TUBERÍA PVC C-10 Ø 1"
	TUBERÍA PVC C-10 Ø 3/4"

TESISTA: Carlos Enrique Vilela Aguilar		 UNIVERSIDAD DE PIURA	
PROYECTO: Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en los centros poblados de Carrizalillo, Cerro de Leones y San Pedro, del distrito de Tambogrande, provincia de Piura, departamento de Piura.			
FECHA: Febrero 2023	ESCALA: SE	PLANO: Plano General	LÁMINA N°: 01/02

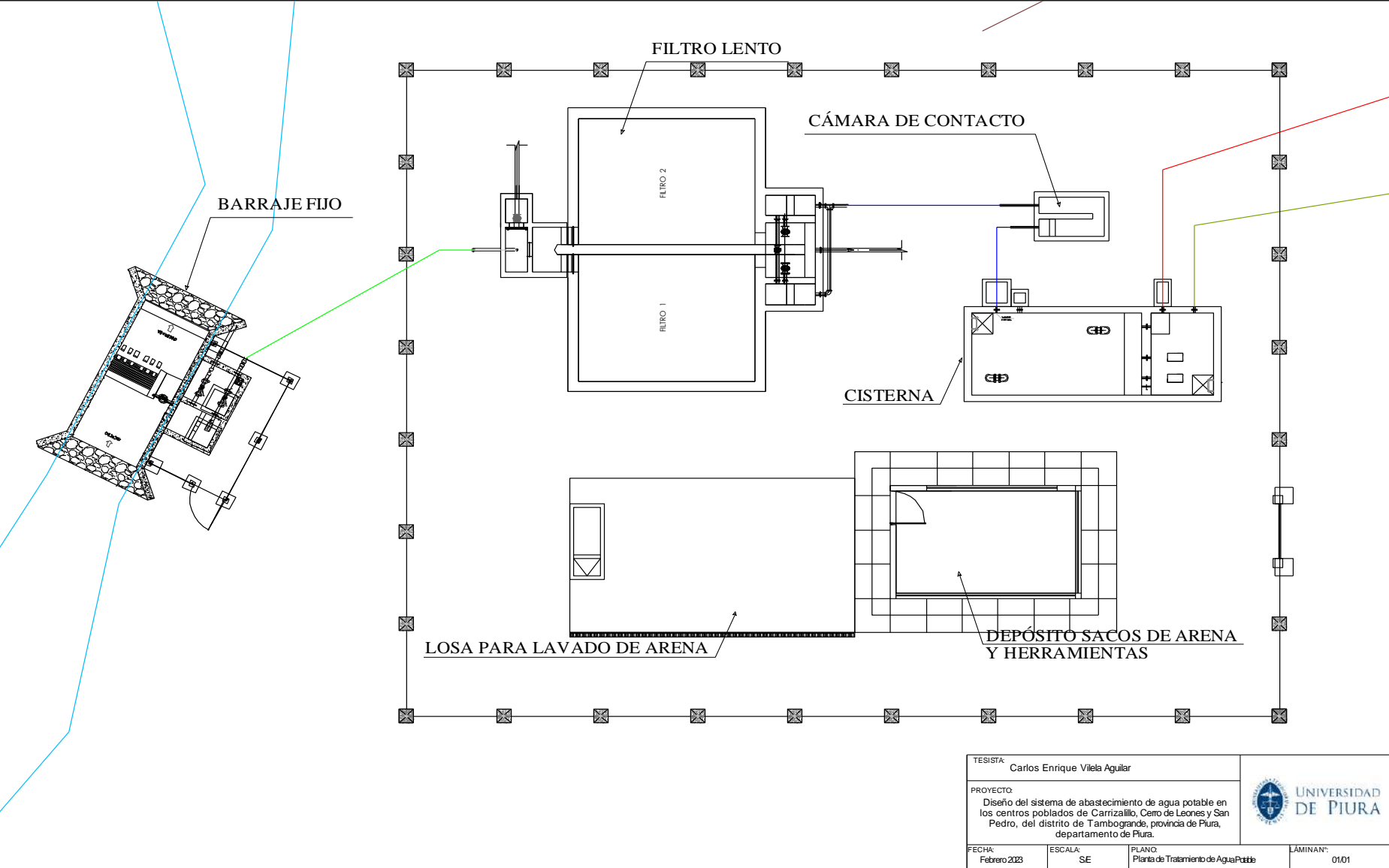



LEYENDA	
	CAMINOS EXISTENTES
	CARRETERAS EXISTENTES
	QUEBRADAS EXISTENTES
	CASA HABITADA
	CASA DESHABITADA
	INSTITUCIÓN EDUCATIVA
	INSTITUCIÓN SOCIAL
	CONEXIÓN DOMICILIARIA
	LÍNEA IMPULSIÓN Ø 6"
	LÍNEA IMPULSIÓN Ø 4"
	TUBERÍA PVC C-10 Ø 1 1/2"
	TUBERÍA PVC C-10 Ø 1"
	TUBERÍA PVC C-10 Ø 3/4"

TESISISTA: Carlos Enrique Vilela Aguilar			
PROYECTO: Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en los centros poblados de Carrizalillo, Cerro de Leones y San Pedro, del distrito de Tambogrande, provincia de Piura, departamento de Piura.			
FECHA: Febrero 2023	ESCALA: SE	PLANO: Plano General	LAMINA N°: 02/02



Plano B. Plano de Planta de Tratamiento de Agua Potable



TESISTA: Carlos Enrique Vilela Aguilar		 UNIVERSIDAD DE PIURA
PROYECTO: Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en los centros poblados de Carrizalillo, Cerro de Leones y San Pedro, del distrito de Tambogrande, provincia de Piura, departamento de Piura.		
FECHA: Febrero 2023	ESCALA: SE	PLANO: Planta de Tratamiento de Agua Potable LAMINAR: 01/01