

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

EVALUACIÓN Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, CONDUCCIÓN Y
ALMACENAMIENTO DEL SECTOR TUCURRIQUE CENTRO PERTENECIENTE AL
ACUEDUCTO RURAL DE TUCURRIQUE

LEANDRO MIGUEL PEÑARANDA SOLANO

CARTAGO, 2021

EVALUACIÓN Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, CONDUCCIÓN Y
ALMACENAMIENTO DEL SECTOR TUCURRIQUE CENTRO PERTENECIENTE AL
ACUEDUCTO RURAL DE TUCURRIQUE

LEANDRO MIGUEL PEÑARANDA SOLANO

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

Ing. Fernando Watson Hernández

Asesor

Ing. Isabel Guzmán Arias

Directora Escuela

Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CARTAGO, COSTA RICA

2021

ACTA DE CALIFICACION DE TRABAJOS DE GRADUACION

A las 09:00 horas del día 25 del mes de enero del año 2021, el estudiante **Leandro Miguel Peñaranda Solano**, carné 201209018, presenta y defiende su trabajo de graduación titulado: **Evaluación y rediseño del sistema de distribución, conducción y almacenamiento del sector Tucurrique Centro**, perteneciente al Acueducto Rural de Tucurrique, ante el Tribunal de Evaluación compuesto por los siguientes miembros:

Presidente (a): Ing. Armando Alvarado Chaves

Asesor (a) de la Escuela: Ing. Fernando Watson Hernández

Lector (a): Ing. Armando Alvarado Chaves

y se le confiere la nota de **90** y firman conforme lo dispone el Reglamento de Trabajos Finales de Graduación

ARMANDO ELIECER
ALVARADO CHAVES
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
ARMANDO ELIECER ALVARADO
CHAVES (FIRMA)
Fecha: 2021.01.25 14:07:50 -06'00'

PRESIDENTE (A)

FERNANDO WATSON
HERNANDEZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por
FERNANDO WATSON HERNANDEZ
(FIRMA)
Fecha: 2021.01.25 14:13:40 -06'00'

ASESOR (A) DE LA ESCUELA

ARMANDO ELIECER
ALVARADO CHAVES
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
ARMANDO ELIECER ALVARADO
CHAVES (FIRMA)
Fecha: 2021.01.25 14:07:54 -06'00'

LECTOR (A)



ESTUDIANTE

Índice de contenido

1. RESUMEN	9
2. ABSTRACT	11
3. INTRODUCCIÓN	13
3.1 Objetivos	15
3.1.1 Objetivo general.....	15
3.1.2 Objetivos específicos	15
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	16
4.1 Sistemas de conducción de agua	17
4.1.1 El agua para consumo humano	17
4.1.2 Acueductos	17
4.1.3 Caudal de Oferta	18
4.1.4 Tanques de Almacenamiento	18
4.1.5 Hidrodinámica de los tanques de almacenamiento	19
4.1.6 Zonas muertas en los tanques de almacenamiento	20
4.1.7 Edad de agua en el tanque de almacenamiento	20
4.1.8 Pérdidas de agua y fugas en los sistemas de abastecimiento	20
4.1.9 Pruebas volumétricas en los tanques de almacenamiento.....	21
4.1.10 Tuberías.....	22
4.1.11 Golpe de ariete	23
4.1.12 Válvulas	24
4.1.13 Hidrometría	27
4.1.14 Diseño de la tubería de conducción.....	28
4.1.15 Dotaciones	30
4.1.16 Representación de los modelos para los sistemas de abastecimiento de agua.....	30
4.1.17 Tipos de modelos hidráulicos	32
4.1.18 Asignación de demandas para el modelo de evaluación del sistema de abastecimiento	33
4.1.19 Consumo de agua neto	34
4.1.20 Caudal medio diario.....	34
4.1.21 Caudal máximo diario.....	34
4.1.22 Consumo máximo horario.	34
4.1.23 Coeficientes de consumo del caudal máximo horario.....	34

4.2	Factores de diseño para los acueductos en Costa Rica	35
4.3	Ley de Hidrantes	35
4.4	Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).....	36
4.5	Estudio económico	36
5	METODOLOGÍA	38
5.1	Recursos utilizados.....	39
5.2	Visita de campo.....	39
5.3	Levantamiento topográfico	39
5.4	Recopilación de Datos	40
5.5	Caudal de oferta.....	41
5.6	Dotación de agua	41
5.7	Pruebas Volumétricas.....	41
5.7.1	Prueba de Niveles	41
5.7.2	Prueba de Estanqueidad	42
5.7	Modelo Hidráulico.....	42
5.8	Análisis ambiental, social y económico del proyecto.....	43
6	RESULTADOS.....	45
6.1	Ubicación de la zona del proyecto.....	46
6.2	Catastro de red y de usuarios.....	47
6.3	Aforos de producción de agua.....	51
6.4	Consumo de agua de la población	52
6.5	Análisis de las dotaciones de agua.....	54
6.6	Análisis de las pruebas de estanqueidad y prueba de niveles.....	55
6.7	Modelación hidráulica	59
6.7.1	Propuesta de mejora 1	66
6.7.2	Propuesta de mejora 2.....	69
6.8	Análisis social y ambiental del proyecto.....	73
6.8.1	Análisis económico.....	73
6.8.2	Análisis social	75
6.8.3	Análisis Ambiental	82
7	CONCLUSIONES	83
8	RECOMENDACIONES	86
9	BIBLIOGRAFÍA	88

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Balance de agua propuesto por el IWA.....	21
Cuadro 2. SDR utilizados y sus características.....	23
Cuadro 3. Velocidad de onda según SDR.....	24
Cuadro 4. Valores de C para Hazen Williams.....	29
Cuadro 5. Tipos de estructuras de modelos para sistemas de abastecimiento de agua.....	31
Cuadro 6. Información de los catastros de red de acueductos a manejar.....	40
Cuadro 7. Información recopilada del acueducto.....	49
Cuadro 8. Producción de agua de las nacientes en litros por segundo.....	52
Cuadro 9. Cálculo de la dotación diaria para la zona en estudio.....	54
Cuadro 10. Cálculo del factor de la demanda base domiciliar y comercial.....	55
Cuadro 11. Dimensiones del tanque principal de almacenamiento.....	55
Cuadro 12. Valores críticos de presión obtenidos.....	64
Cuadro 13. Presiones obtenidas con la propuesta 1.....	68
Cuadro 14. Presiones obtenidas con la propuesta de mejora 2.....	71
Cuadro 15. Costo de las válvulas incorporadas al sistema con la propuesta 1.....	73
Cuadro 16. Materiales por utilizar para la propuesta de diseño 1.....	74
Cuadro 17. Egresos mensuales de la ASADA.....	74
Cuadro 18. Ingresos por consumo de agua.....	75
Cuadro 19. Balance económico para las propuestas de mejora.....	75
Cuadro 20. Valoración D-1 para la realización del proyecto.....	82

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema de válvula reguladora de presión Fuente: (Pérez & Pérez, 2005)	26
Figura 2. Diagrama de válvula sostenedora de presión.....	26
Figura 3. Válvula controladora de flujo	27
Figura 4. Mapa de ubicación de la comunidad de Tucurrique.....	46
Figura 5. Red de distribución de la zona de estudio.	47
Figura 6. Red de conducción de la zona de estudio	48
Figura 7. Rango de alturas en la red de estudio del acueducto de Tucurrique.....	49
Figura 8. Diámetros utilizados en la red de estudio del acueducto de Tucurrique.	50
Figura 9. Diámetros utilizados en la red de distribución.....	51
Figura 10. Consumo total por mes de la población del sector Tucurrique Centro.....	53
Figura 11. Variación de los niveles de agua en el tanque durante la prueba de estanqueidad.....	56
Figura 12 . Niveles de agua del tanque de Tucurrique para 24 horas de medición.....	57
Figura 13. Factor de consumo de la población.	58
Figura 14. Representación gráfica del factor de consumo horario obtenido.	59
Figura 15. Diagrama respectivo de la red de conducción para la modelación en WaterCAD.....	60
Figura 16. Detalle tanque principal.....	61
Figura 17. Diagrama respectivo de la red de distribución para la modelación en WaterCAD.....	62
Figura 18. Distribución de Presión en la red.	63
Figura 19. Distribución de velocidades en la red.....	65
Figura 20. Comportamiento del nodo más alejado de la red.	66
Figura 21. Distribución de válvulas reguladoras de presión.....	67
Figura 22. Distribución de presiones en la red de conducción	67
Figura 23. Presiones en la red de distribución con las mejoras establecidas.....	68
Figura 24. Velocidades obtenidas en la red.....	69
Figura 25. Distribución de diámetros recomendados por AyA	70
Figura 26. Presiones obtenidas con la propuesta 2.	71
Figura 27. Velocidades obtenidas con la propuesta de mejora 2.	72
Figura 28. Opinión acerca del servicio de abastecimiento de agua potable.	76
Figura 29. Criterio acerca del servicio de mantenimiento dado al acueducto	77
Figura 30. Satisfacción acerca de la tarifa cobrada por el servicio.....	77

Figura 31. Conocimiento acerca de algún problema en la red de abastecimiento.	78
Figura 32. satisfacción acerca de la cantidad de agua y presión entregada.	78
Figura 33. Opinión acerca de la interrupción del servicio en el último mes	79
Figura 34. Conocimiento acerca de la ubicación de las nacientes.	79
Figura 35. Conocimiento acerca de la cantidad de agua consumida.....	80
Figura 36. Opinión acerca del sistema de cloración utilizado.	80
Figura 37 Problemas con respecto a la calidad del agua.	81

1. RESUMEN

Mediante la elaboración de este trabajo en la red de distribución de agua potable de la comunidad de Tucurrique Centro, perteneciente a la ASADA de Tucurrique, se conocieron las características del sistema mediante una evaluación de las condiciones propias de trabajo, midiendo las condiciones de presión, velocidad, diámetros adecuados, según lo establecido por la norma del AyA.

Realizando un trabajo de campo con equipo topográfico, recopilación de información de aforos, consumos mensuales de la población y modelación hidráulica con el software WaterCAD para la determinación de variables físicas (presión, velocidad y caudal) en nodos y tuberías, se determinó que el acueducto no trabaja bajo las condiciones establecidas por el AyA.

La propuesta de mejora establecida está en función de regular presiones en el sistema, de manera que trabaje correctamente, permitiendo que el agua fluya según lo establecido por el ente regulador. Dicha mejora estará en función de la utilización de las válvulas reguladoras de presión.

Mediante un análisis económico, social y ambiental se logró determinar el impacto de la incorporación de dichas válvulas al sistema actual, con el objetivo de determinar también la satisfacción de los usuarios con respecto al servicio brindado.

2. ABSTRACT

Through the elaboration of this work in the drinking water distribution network of the community of Tucurrique Centro, which belongs to the ASADA of Tucurrique, the aim was to know the characteristics of the system through an evaluation of the working conditions, assessing the conditions of pressure, speed, adequate diameters, as established by the AyA standard.

Carrying out field work with topographic equipment, gathering information on gauging, monthly consumption of the population and hydraulic modelling with the WaterCAD software to determine physical variables (pressure, speed and flow) in nodes and pipes, it was obtained that the aqueduct does not work under the conditions established by the AyA.

The established improvement proposal is based on regulating pressures in the system so that it works correctly, allowing water to flow as established by the regulating entity. This improvement depends on the use of the pressure regulating valves.

Through an economic, social and environmental analysis, the impact of the incorporation of these valves to the current system was determined, with the objective of also determining the satisfaction of the users with respect to the service provided.

3. INTRODUCCIÓN

En la época actual, se han presentado adversidades respecto al tema del agua, independientemente del uso que se le dé, siendo estudiado en este apartado todo lo referente a los sistemas de captación, conducción y distribución de los sistemas de agua potable; las características y deficiencias de estos sistemas (Valverde, 2013).

Las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS), han formado parte de una mejora de los servicios de abastecimiento en las comunidades, esto se refleja en el aumento de cobertura con agua potable para los habitantes en los últimos años. Actualmente son las que administran la mayor cantidad de acueductos en el país, sin embargo, estos son muy pequeños y abastecen poblaciones pequeñas (Jiménez, 2012).

Este proyecto surge debido a la necesidad de conocer la situación actual del sistema de Acueducto de la comunidad de Tucurrique, específicamente en el sector Tucurrique Centro, ya que, según miembros de la junta directiva, son sistemas de conducción muy viejos y se desconoce si su funcionamiento es óptimo y si cumple con los requerimientos mínimos que exige la ley, específicamente las disposiciones establecidas por el AyA.

Dicho ente, creó un documento para la elaboración de estudios técnicos de evaluación de acueductos respondiendo a limitaciones técnicas encontradas que podrían afectar la cantidad, calidad y continuidad del servicio brindado. Su objetivo fue encaminar a las ASADAS a basarse cuantitativamente en información que permitiera la aceptación o no de proyectos habitacionales o un cierto número máximo de abonados de acuerdo con su capacidad actual (AyA, 2017).

La ASADA Tucurrique se establece en 1998, con apoyo del AyA, nace como ente independiente del Consejo Municipal y centrado en la temática del suministro de agua permite que la situación de abastecimiento de agua mejore sustancialmente, especialmente en los aspectos administrativos. Un punto crítico en el proceso de la nueva ASADA ocurrió a mediados de la década del 2000-2010 con la construcción del túnel de conducción de agua a la hidroeléctrica La Joya de Unión Fenosa. Dicho proceso afectó las nacientes del agua del

acueducto ubicadas en las afueras de Tucurrique, cercanas al sitio donde hoy se encuentran los tanques centrales del acueducto, lo que redujo significativamente el abastecimiento de agua, ya que solamente una de las nacientes continuó produciendo agua y otras cuatro se secaron completamente. Esto originó acciones rápidas por parte de la empresa Unión Fenosa quien construyó una tubería de alrededor de diez kilómetros de longitud para transportar agua desde la naciente Palmichal hasta los tanques centrales. La abundancia de agua de esa fuente, y el diámetro de la tubería resolvieron el problema, con el inconveniente de que la tubería fuese enterrada a poca profundidad (30 a 60 cm), regularizando así completamente el abastecimiento de agua por primera vez en varias décadas (Marín, 2015).

Con lo mencionado anteriormente, se establece la necesidad de conocer el funcionamiento adecuado del acueducto en su totalidad siendo importante en este caso el sector ya mencionado, para este trabajo, se realizó un estudio en el sistema principal de conducción, almacenamiento y distribución. Para esto se realizó una evaluación utilizando un software de modelación hidráulica, se llevó a cabo una etapa de recopilación de información básica para el modelo, analizando demandas actuales, diámetros, material y longitud de tuberías, capacidad de tanques de almacenamiento y los perfiles topográficos del sistema. Luego se realizaron pruebas volumétricas para determinar el estado del tanque de almacenamiento que existe actualmente.

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo general

Evaluar el sistema de conducción, distribución y almacenamiento para proponer soluciones a las problemáticas técnicas del Acueducto Rural Tucurrique de Cartago.

3.1.2 Objetivos específicos

- a. Evaluar la situación de la red hidráulica en estudio para conocer la situación, de la misma mediante modelaciones hidráulicas y analizar los resultados de dicha modelación como herramienta para la toma de decisiones y establecimiento de las mejoras respectivas.
- b. Generar un plan de mejoramiento hidráulico, que permita gestionar y administrar el recurso hídrico de una manera más eficiente.

- c. Evaluar los aspectos sociales, ambientales y económicos de los resultados obtenidos mediante el desarrollo del proyecto.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 Sistemas de conducción de agua

4.1.1 El agua para consumo humano

El agua es el elemento principal para el desarrollo de la vida y requerida por todos los seres vivos, para llevar a cabo sus funciones tanto biológicas como de trabajo o producción. Utilizada también en procesos industriales, y es primordial para asegurar la sostenibilidad de los sistemas de la tierra (Corcho & Duque, 2005).

Cada organismo depende del agua, por lo que se ha convertido en el eje principal del desarrollo a lo largo de la historia. Pero también, el agua es un recurso escaso y limitado en los últimos años, no hay una conciencia globalizada sobre el manejo razonable que se debe ejercer sobre el mismo (Brière, 2005).

El recurso hídrico está en constante presión o debate debido al crecimiento de la población, y por ende de las actividades realizadas por esta, en donde se involucran actividades agrícolas, y desarrollo de poblaciones en zonas no aptas, lo cual ha llevado a una competencia por el recurso. El deterioro de la calidad del agua causado por la contaminación influye sobre la salud humana y el funcionamiento de los sistemas de conducción, reduciendo así la efectiva disponibilidad e incrementando la competencia por el agua de calidad (Mejía, 2005).

A finales del siglo XIX mediante normas de calidad establecidas se inició la evaluación de la calidad del agua potable. Las normas de calidad están constituidas por límites máximos permitidos de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos aprobados por la legislación de cada país.

En Costa Rica, se han aplicado cuatro normativas para evaluar la calidad del agua potable: En 1993 las Normas Internacionales de Centroamérica y República Dominicana, en 1997 se aprobó el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, en el 2005, se aprobó la segunda versión y en setiembre del 2015, la tercera versión con un control operativo para los acueductos, utilizando los parámetros de turbiedad, olor, sabor, pH y cloro residual (Mora Alvarado, 2018)

4.1.2 Acueductos

Se define acueducto como al conjunto de instalaciones encargadas de conducir el agua desde su punto de captación (Fuente o naciente) hasta el punto de entrega o acometida domiciliaria.

Está formado por elementos como la fuente de abastecimiento, sistema de captación, tanques de almacenamiento y distribución, sistemas de filtrado, redes de conducción y entrega y sistemas de control de presión, caudal y consumo, con el objetivo de abastecer agua de calidad a la población (Ramírez, 2016).

La construcción de un acueducto surge de la necesidad de suministrar agua a una población que no dispone de este recurso, o que no presenta la calidad adecuada para el consumo humano. Los acueductos funcionan a presión o bien a superficie libre, cuando se trabaja a presión se utilizan tuberías cerradas, y en superficie libre, se transporta el agua a través de canales o tuberías parcialmente llenas. Los acueductos a superficie libre fueron muy utilizados en la antigüedad debido a la falta de tecnología y materiales que permiten desarrollar tuberías cada vez más resistentes a altas presiones. En la actualidad es mucho más simple desarrollar sistemas a presión debido a la disponibilidad de tecnología (Bejarano, 2013).

4.1.3 Caudal de Oferta

Para poder realizar un correcto abastecimiento de agua potable se debe de tener fuentes de abastecimiento las cuales deber ser capaces de suministrar la cantidad de caudal necesaria en volumen y tiempo para abastecer a la población y tener una calidad óptima de sanidad, la cual puede ser mitigada mediante obras de potabilización siempre y cuando las condiciones del agua lo permitan.

Las fuentes se clasifican en superficiales como lo son los ríos, quebradas, canales, lagos o embalses, y subterráneas o Profundas (Orellana, s,f).

4.1.4 Tanques de Almacenamiento

La funcionalidad de los tanques de almacenamiento se basa en las condiciones de intermitencia tanto del caudal aportado de las nacientes y la demanda de consumo de la población, se almacena el agua para solventar los cambios de consumo que se ocasionan durante un día, además se debe de garantizar el servicio cuando hay arreglos o fallas en los componentes del sistema que lo anteceden, además se debe garantizar un volumen de reserva en los casos de siniestros como incendios (Torres, 2008).

Según (AyA, 2017), el tanque debe ser dimensionado de manera que cumpla con lo siguiente:

- a) Compensar las variaciones en el consumo de agua a lo largo del día (picos de consumo o de mayor demanda del recurso en el tiempo)
- b) Contar con reservas en caso de incendio.
- c) Disponer de un volumen adicional de agua para emergencias (accidentes, reparaciones, etc.)
- d) Dar una presión adecuada a la red de distribución

Si la topografía de la zona presenta niveles adecuados, el tanque se puede construir sobre el terreno, enterrado o semienterrado. En los casos contrarios, cuando no se tenga un desnivel que permita la circulación del agua se debe optar por un tanque elevado.

4.1.5 Hidrodinámica de los tanques de almacenamiento

Dentro del comportamiento de los tanques de almacenamiento se deben de analizar aspectos como configuración de entrada y salida, niveles de agua de los tanques de almacenamiento y zonas muertas de mezcla. La configuración de una entrada y de una salida del tanque de almacenamiento de agua es importante en el funcionamiento de fenómenos relacionados con el tiempo de retención, la mezcla y la calidad del agua. Aspectos como la separación entre las tuberías, la altura, el diámetro de estas son parámetros importantes para considerar a la hora de diseñar un tanque. La colocación efectiva de la entrada y salida de un tanque permite asegurar el movimiento de agua a través de éste, dado que puede suceder que el flujo gire sólo en la proximidad de la entrada, dejando una gran zona muerta (Gómez, 2014).

La ubicación de la entrada puede generar la energía del chorro, la cual sirve para agitar el agua en el tanque, donde se determinará qué tan efectiva será la mezcla resultante. La colocación de una entrada en un nivel alto forzará el agua a fluir de arriba a abajo en la profundidad del tanque, produciendo turbulencia en la entrada, la cual genera una mezcla más uniforme con el agua almacenada, eliminando zonas muertas, la reducción del diámetro de entrada aumentará la velocidad y la energía cinética del agua entrante en el depósito y mejorará la mezcla (Montoya, 2012).

4.1.6 Zonas muertas en los tanques de almacenamiento

Se les llama zonas muertas a aquellas secciones en donde el agua es retenida por un lapso sin ser mezclada con el resto, recirculando entre sí, provocando que el volumen de agua no salga del tanque hasta que se modifique su condición.

Las causas de este fenómeno pueden ser: el mínimo cambio de los niveles de agua en los tanques, distribución de válvulas en el sistema, donde el cierre de estas produce puntos muertos. La forma del tanque también influye en la formación de zonas muertas ya que en tanques circulares se dan zonas muertas por el movimiento tangencial y en los tanques rectangulares por el movimiento lateral (Araya, 2012).

4.1.7 Edad de agua en el tanque de almacenamiento

La edad del agua está en función de la demanda de agua, del diseño del sistema y de la operación de este. A mayor demanda de agua, disminuye el tiempo en el que el agua se mantiene dentro del tanque. El factor de la edad del agua es el que más influye en la disminución de la calidad de agua en los sistemas de distribución. Entes internacionales como U.S. Environmental Protection Agency establecen un promedio de 1,3 días de tiempo de retención en los sistemas de distribución, con un tiempo máximo de 3 días (Araya, 2012).

4.1.8 Pérdidas de agua y fugas en los sistemas de abastecimiento

Para determinar el nivel de eficiencia de los sistemas de distribución relacionados con las pérdidas de agua presentadas, es necesario clasificarlas para determinar su origen y establecer el método de corrección en el caso de ser posible realizarlo.

El índice de agua no contabilizada (IANC) es un indicador que involucra las pérdidas técnicas y las pérdidas comerciales, esta última contempla las pérdidas no técnicas y el consumo legal no facturado.

Mediante el balance hídrico se puede diagnosticar la situación de las pérdidas comerciales y operacionales del sistema de distribución. La Asociación Internacional del Agua (IWA), establece la categorización de las pérdidas. A continuación, se muestra el esquema propuesto para realizar el balance de agua (Ramírez, 2016).

Cuadro 1. Balance de agua propuesto por el IWA.

VOLUMEN DISTRIBUIDO AL SISTEMA	CONSUMOS AUTORIZADOS	CONSUMOS AUTORIZADOS FACTURADOS	CONSUMOS FACTURADOS MEDIDOS	CONSUMOS MEDIDOS O ESTIMADOS	
			CONSUMOS FACTURADOS NO MEDIDOS		
		CONSUMOS FACTURADOS NO FACTURADOS	CONSUMOS FACTURADOS NO MEDIDOS		
			CONSUMOS NO FACTURADOS NO MEDIDOS		
	PÉRDIDAS DE AGUA	PÉRDIDAS APARENTES		CONSUMOS NO AUTORIZADOS	AGUA NO CONTABILIZADA
				ERRORES DE MEDICIÓN EN MICRO MEDIDORES	
		PÉRDIDAS REALES		FUGAS EN LÍNEAS PRINCIPALES	
				FUGAS Y DESBORDE EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	
	PÉRDIDAS EN CONEXIONES ANTES DEL MICRO MEDIDOR				

Fuente: Ramírez, 2016

Las fugas en el sistema pueden presentarse en las válvulas distribuidas a lo largo de la línea de conducción o propiamente en las líneas de distribución, pero la pérdida más grande se presenta en las tuberías principales. Aspectos como el material de la tubería, forma de ensamblaje de accesorios, edad de la tubería influyen de manera directa en la generación de fugas. Condiciones externas, tales como contacto con otras estructuras; y tensión por vibraciones del tráfico, sobre la tubería pueden también contribuir a las fugas, ya que le generan una carga a la tubería provocando con el tiempo la aparición de fisuras (Lahlou, 2009).

4.1.9 Pruebas volumétricas en los tanques de almacenamiento

Según Araya (2012), citado por Mora (2017), las pruebas volumétricas de estanqueidad y la prueba de niveles o curva de masas, son las pruebas conocidas que se utilizan en la evaluación de los tanques de almacenamiento, dichas pruebas se realizan con equipos electrónicos especializados debido a su complejidad.

- **Prueba de Estanqueidad:** Mediante esta prueba, se logra determinar el volumen de agua que se pierde por fugas en el tanque de almacenamiento, aislando el movimiento del agua tanto en la entrada como en la salida de este.

- **Prueba de niveles o curva de masas:** Esta prueba permite conocer el comportamiento de los niveles de agua que se presentan en el tanque durante un día completo, mediante esta prueba se logra conocer las horas de máximo y mínimo consumo diarias (Mora, 2017).

4.1.10 Tuberías

Las tuberías constituyen la componente indispensable en las obras de acueductos a presión ya que serán las encargadas de conducir el agua entre la otra obra de toma y la reserva final. Por lo general constituyen no menos del 60% del costo total de la obra, por lo que es muy importante su estudio profundo si se quiere hacer un buen proyecto (Amanco, 2013).

Los materiales más comunes son: Policloruro de Vinilo (PVC), Polietileno, hierro Galvanizado, hierro Fundido, hierro Dúctil y acero siendo las más comunes de utilizar las dos primeras para el caso de tubería de conducción y distribución. Se distinguen dos tipos de tuberías: las tuberías de unión flexible y las de unión rígida. Las de unión flexible presenta características especiales de anillo y campana que facilitan la labor de ensamble para una conexión y centrado facilitado por la misma condición. Las de unión rígida requieren de uniones simples para el empalme entre tuberías las uniones son ensambladas con pegamento, pueden ser lisas o roscadas. (Cascante, Rodríguez, & Sanabria, 2016).

Las tuberías de PVC, por lo general constituyen una alternativa económica en comparación con tuberías de otros materiales (Amanco, 2013), cuando se trabaje en el rango de diámetros entre 63 mm y 500 mm. Para un diámetro nominal dado, el diámetro real del cálculo hidráulico de estas tuberías (PVC) es menor cuanto mayor es la resistencia de las mismas. Esto se debe a que, durante el proceso de fabricación, el incremento de espesor de las paredes de la tubería, que se hace para aumentar su resistencia, se realiza hacia adentro y no hacia afuera como el resto de los materiales del mercado. Por lo tanto, para las tuberías de PVC, el diámetro dependerá de la relación de dimensión estándar (SDR).

Las diferentes tuberías de PVC trabajan a diferentes presiones de operación, las cuales son clasificadas por su SDR (Standard Dimension Ratio). El Cuadro 2. muestra los SDR de las tuberías que existen en el mercado y la presión de trabajo para la cual están diseñadas.

Cuadro 2. SDR utilizados y sus características.

SDR	Presión de trabajo kg/cm² (psi)	Presión de trabajo (m.c.a.)
11	28 (400)	280
13,5	22,4 (320)	224
17	17,5 (250)	175
26	11,2 (160)	112
32,5	8,8 (125)	88
41	7,0 (100)	70
50	5,6 (80)	56

Fuente: Amanco (2013).

4.1.11 Golpe de ariete

Según Mora (2017), uno de los problemas que se encuentra en la mayoría de los sistemas de tuberías mal diseñados y que trabajan a altas presiones, es el golpe de ariete. Según Amanco (2013), los cambios súbitos de presión, o golpes de ariete, son producidos por variaciones en la presión hidrostática de la tubería, la columna de líquido que se mueve dentro de la tubería posee cierta inercia, proporcional a su peso y a su velocidad. Cuando el flujo se detiene repentinamente, la inercia se convierte en un incremento de presión.

Las causas más frecuentes de los golpes de ariete son:

- Apertura y cierre rápido de válvulas.
- Arranque y parada de una bomba.
- Acumulación y movimiento de bolsa de aire dentro de las tuberías.

Existen muchas formas de prevenir el golpe de ariete en las tuberías, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Cierre lento de válvulas y registros, construcción de piezas que no permitan la obstrucción muy rápida.

- Utilización de tuberías que puedan soportar sobrepresiones ocasionadas por el golpe de ariete.
- Empleo de válvulas y dispositivos mecánicos especiales, válvulas de alivio.

La ecuación que representa la sobrepresión generada por el golpe de ariete se muestra a continuación:

$$P_{GA} = \frac{a \times v}{10 \times g}$$

Dónde:

P_{GA} : Sobrepresión por efecto de golpe de ariete, en mca.

v : Velocidad del flujo en m/s.

a : Velocidad de onda en m/s de Onda a en función del SDR-PVC o DR-PEAD.

g : Fuerza de gravedad (9,81 m/s²).

El valor de onda se obtiene del Cuadro 3:

Cuadro 3. Velocidad de onda según SDR

SDR	DR	a (m/s)
17	9	410
26	11	330
32.5	13.5	294
41	17	261

4.1.12 Válvulas

Las válvulas son elementos que permiten controlar el flujo dentro de una red de abastecimiento, existen diferentes tipos de válvulas según la necesidad requeridas entre las cuales están: regulación de flujo y presión, evitar el retroceso del flujo, control del aire mediante la admisión o eliminación, protección por sobrepresiones en tuberías y bombas (Nieto, 2009).

Se pueden clasificar en 4 categorías a mencionar:

- Válvulas de control: Controlan el flujo y disipan los excesos de energía, además de limitar la cavitación a niveles aceptables.
- Válvulas reguladoras de presión: Protegen a la tubería de presiones excesivas. Mantienen constante la presión en la conducción, Para su selección es importante tener en cuenta algunos criterios como el tipo de fluido, las condiciones a la cuales va a operar y las condiciones críticas del sistema.
- Válvulas de no retorno: Impiden el retroceso del flujo.
- Válvulas de admisión y expulsión de aire: Admiten y expulsan aire durante el vaciado y llenado respectivamente, eliminan el aire que contiene el agua en solución y que al separarse se acumula en los puntos altos de la red. (Conagua, s,f).

4.1.12.1 Válvulas utilizadas en el control hidráulico de modelaciones

Según Reis, Porto, & Chaudhry (1997), citado por Pérez (2016), el conocimiento preciso del estado de las válvulas es uno de los puntos que afectan los caudales y las presiones dentro de la red de distribución.

Según Walski (2001) citado por Pérez (2016), las válvulas más usadas en los modelos hidráulicos son las siguientes:

- Reductora de presión (PRV): Regulan el gradiente hidráulico para que no exceda un valor máximo determinado, son usadas cuando las presiones aguas abajo puedan generar problemas a la red, para el modelo se requiere saber el diámetro de la tubería y el estado de cada válvula (abierta o cerrada).

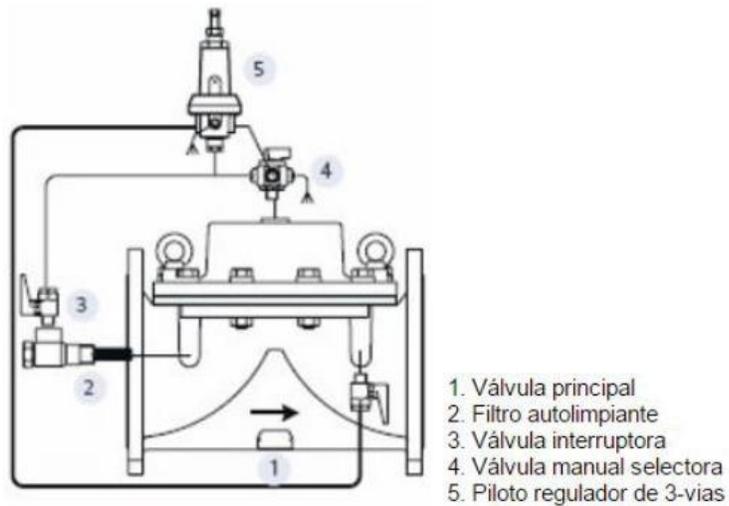


Figura 1. Esquema de válvula reguladora de presión Fuente: (Pérez & Pérez, 2005)

- Sostenedora de presión (PSV): Regulan el flujo para que el gradiente no sea menor que el valor mínimo determinado en cierto punto de la red. Son usadas para modelar válvulas de alivio. Para el modelo se requiere saber el diámetro de la tubería y el estado de cada válvula (abierta o cerrada).

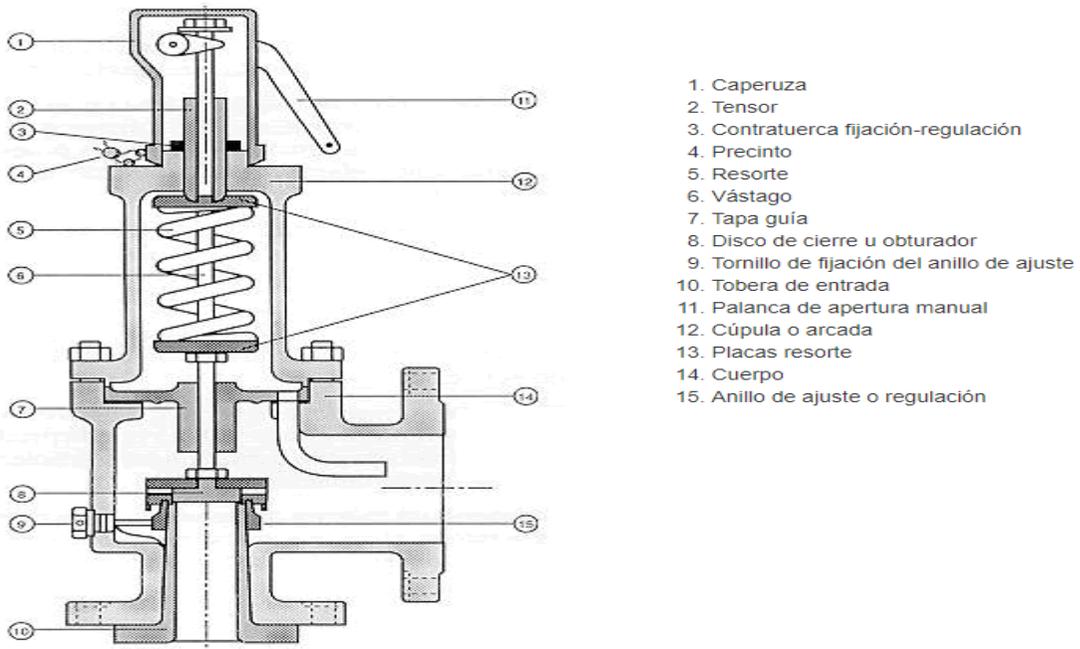


Figura 2. Diagrama de válvula sostenedora de presión

- Controladoras de flujo (FCV): Este tipo de válvula se utiliza en situaciones en donde se requiere una regulación de flujo basada en la velocidad de este. De igual manera que en las anteriores se requiere del diámetro de la tubería y el estado de la válvula para la modelación.

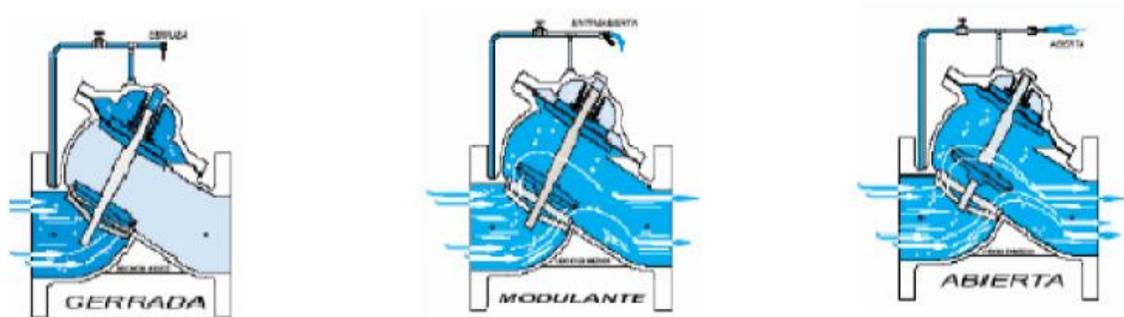


Figura 3. Válvula controladora de flujo

4.1.13 Hidrometría

Según Basán (2010), la hidrometría se define como todas aquellas acciones que implican la medición del agua en las diferentes fases operativas, desde que se extrae de las fuentes de abastecimiento, hasta que se entrega a los usuarios finales. Se encarga de medir, calcular, analizar y registrar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería, o sistema de abastecimiento en funcionamiento.

La hidrometría cuantifica los niveles de agua que fluyen en un cauce. Mediante la información obtenida del estudio hidrométrico, se puede realizar un análisis integral sobre el uso y explotación del agua del cauce en estudio, produciendo importantes beneficios como lo son, en términos económicos la facturación del recurso y control de la calidad de las fuentes de agua superficiales o subterráneas (Ortega, 2012).

Macromedición:

Según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2011), el objetivo fundamental de la macro medición es medir los caudales extraídos de acuerdo con los volúmenes concesionados

y de esta manera conocer la cantidad de agua producida y determinar la eficiencia global del sistema.

La instalación de este tipo de equipos de medición permite conocer la diferencia entre volumen ingresado a la red versus volúmenes concesionados, lo cual permite conocer el volumen total de agua aprovechado, otro beneficio que podemos obtener con la medición del caudal extraído, es el balance hídrico de la red, el cual permite realizar la modelación hidráulica del sistema debido a que se puede llevar a cabo un estricto control de presiones que evite fugas ocasionadas por altas presiones en las líneas de conducción y operar a presiones adecuadas en la toma domiciliaria con la que se garantice un servicio de calidad durante el abastecimiento a los usuarios.

Micro medición:

La micro medición forma parte del sistema de medición de consumo, su objetivo es determinar el volumen consumido por los usuarios que cuentan con una toma domiciliaria. Dicha información permite llevar un registro de consumo y por ende poder establecer el cobro mensual por el volumen consumido, también se logra generar un mejor uso del agua, distribución acorde a las necesidades, permite tener una mejor distribución del agua dentro de las cantidades disponibles para la dotación, conforme a su infraestructura hidráulica y capacidad en la prestación del servicio. Por lo general, cuando no se contabiliza el volumen consumido, se ha detectado que el consumo llega a ser el doble o más de lo que se consume cuando se cuenta con un medidor instalado (CONAGUA, 2007).

4.1.14 Diseño de la tubería de conducción

Según AyA (2017), en su Norma técnica para construcción y diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento pluvial, las tuberías se deben dimensionar aplicando las fórmulas de Hazen y Williams u otras, siempre y cuando se justifique técnicamente la aplicación de la fórmula utilizada, dicha utilización será revisada y aprobada o no por el AyA. para lo cual se debe aportar la debida justificación y documentación técnica, lo cual quedará sujeto a la aprobación de AyA. La ecuación más utilizada para el diseño de tuberías es la de Hazen Williams, la cual se muestra a continuación:

$$D = \left(\frac{1,131 \times 10^9 * Q^{1,852} * L}{H_f * C^{1,852}} \right)^{0,20525} \quad \text{Ec1}$$

Donde:

D: Diámetro de tubería (m).

Q: Caudal de la tubería (m³/h).

C: Coeficiente de Hazen Williams, Según el tipo de material de la tubería.

L: Longitud de tubería (m).

H_f: Pérdida por fricción (m/m) .

Los coeficientes para la fórmula de Hazen y Williams (C), según tipo de material, son los que se detallan a continuación:

Cuadro 4. Valores de C para Hazen Williams.

Material	Valor máximo de C (Adimensional)
Polietileno de Alta Densidad (PEAD)	130
Cloruro de Polivinilo	130
Concreto	120-140
Hierro galvanizado	120
Hierro dúctil	120
Hierro fundido	130
Hierro fundido (10 años)	107-113
Hierro fundido (20 años)	89-100
Hierro fundido (30 años)	75-90
Hierro fundido (40 años)	64-83
Acero	130
Acero fabricado en los últimos 10 años	140-150
Acero rolado	110
Cobre	130-140

Fuente: AyA, 2017.

4.1.15 Dotaciones

La dotación se define como el consumo de agua promedio por persona en un día y se expresa normalmente en litros por habitante por día y sus unidades son L/hab/día.

Para el diseño del sistema de abastecimiento se deben aplicar las siguientes dotaciones brutas (AyA, 2017).

- i) Datos de los patrones de consumos y demandas de la localidad en estudio, según datos reales, tienen a disposición del diseñador.
- ii) Cuando no existan datos reales de los patrones de consumos y demandas de la localidad en estudio, se deben utilizar los siguientes valores mínimos:
 - Poblaciones rurales: 200 l/hab/d; en caso de zonas rurales costeras se aplicará la dotación establecida para “Población costera”
 - Poblaciones urbanas: 300 l/hab/día
 - Poblaciones costeras: 375 l/hab/día
 - Área Metropolitana: 375 l/hab/día
 -

4.1.16 Representación de los modelos para los sistemas de abastecimiento de agua

De acuerdo con Pereltman, Ostfeld, & Sautner (2008), citado por Mora (2017), la representación de los modelos en los softwares de evaluación, no necesariamente deben ser iguales, debido a esto la estructura de la red se puede evaluar de diferentes maneras, ya sea de forma esqueletizada (omitir las tuberías de menor tamaño) o reducida (omitir los nodos hidráulicamente insignificantes en el modelo). A continuación, se detalla la información respectiva a cada tipo de modelación según la aplicación dada.

Cuadro 5. Tipos de estructuras de modelos para sistemas de abastecimiento de agua

Tipo de Estructura	Definición	Aplicaciones
Con todas las tuberías de la red	La representación en el modelo es igual a la que se encuentra en los planos y archivos SIG, no hay reducción ni esqueletización.	Modelación de calidad de agua y determinación de puntos de muestreo para determinación de calidad de agua.
Con todas las tuberías de la red, pero reducido	En este tipo de modelo el número de nodos es mucho menor, solo se pueden omitir los nodos de segmentos de tuberías con las mismas características (diámetro, material). La cantidad de nodos reducida es de alrededor del 50%.	Se aplica para grandes sistemas de abastecimiento, Modelación de calidad de agua y determinación de puntos de muestreo para determinación de calidad de agua.
Esqueletizado	Incluye todos los diámetros de tuberías por encima de un valor predeterminado, así que se usa para representar tuberías grandes, por lo que solo contienen un 10 o 20% de las tuberías de la red	Modelación de extensas líneas de conducción. Análisis de zonas de interés en específico.

Fuente: AWWA (2012)

4.1.17 Tipos de modelos hidráulicos

La modelación de un sistema de distribución de agua implica utilizar un modelo matemático e informativo para predecir su funcionamiento, así como datos de caudales y presiones en cada elemento que conforman la red. Mediante la herramienta del modelo es posible plantear diversos escenarios: evaluar la red sobre condiciones actuales y también planteando mejoras al sistema para optimizar su funcionamiento (Mora, 2017).

En los modelos de análisis de redes, el tiempo representa una de las principales características, ya que se pretende conocer el comportamiento de fenómenos como presión y caudal a lo largo del mismo. Con respecto a esa variable se pueden clasificar los modelos en estáticos o dinámicos.

- Modelo de análisis estático: En este tipo de modelo no se consideran las variaciones en el tiempo para determinar los valores de las variables del sistema analizado, como por ejemplo consumos en nudos. Se le conoce como modelo instantáneo.
- Modelo de análisis dinámico: son modelos en los cuales se tiene en cuenta la variación temporal de los distintos parámetros del sistema, que definen los cambios de las variables del sistema. Este tipo de modelo a su vez se clasifica en:
 - Modelo no inercial: desprecian la inercia del fluido en el sistema hidráulico y cuya característica dinámica está dada por la disposición de una serie de condiciones de contorno que pueden variar lentamente con el tiempo se realiza una actualización de parámetros tales como niveles de depósitos, demandas en nudos, etc. entre dos instantes de tiempo consecutivos, lo cual representa la variación de estos a lo largo del tiempo.
 - Modelos inerciales: consiste en considerar la energía presente en los cambios de velocidad, debido a variaciones temporales de ciertas condiciones de contorno, consideran la inercia del fluido en su movimiento. Este tipo de modelos son muy útiles en el análisis de fenómenos en los cuales se presentan cambios bruscos en la velocidad del fluido, cambios debido a maniobras rápidas en válvulas o elementos de regulación, arranque o parada de grupos de bombeo, roturas en líneas principales de conducción, etc.

En este proyecto se utilizó WaterCAD, ya que dicho software permite realizar un análisis completo de redes de distribución de agua, facilita el trazado de la red y la incorporación de accesorios al sistema. La principal ventaja que presenta WaterCAD ante los demás programas de modelación, es su versatilidad para realizar cambios y establecer diferentes alternativas o escenarios de diseño (García, 2011).

WaterCAD, permite la simulación hidráulica de un modelo computacional representado en este caso por elementos tipo: Línea (tramos de tuberías), Punto (nodos de consumo, tanques, reservorios, hidrantes) e Híbridos (bombas, válvulas de control, regulación, etc.) En un modelo hidráulico se ingresan propiedades del sistema, demandas de agua y reglas de operación del sistema, etc.; con lo que el software calcula caudales, presiones, gradientes hidráulicos, calidad de agua (Bejarano, 2013).

4.1.18 Asignación de demandas para el modelo de evaluación del sistema de abastecimiento

La información para determinar la demanda promedio puede ser considerada de los siguientes aspectos: el agua producida en las fuentes, volumen de agua bombeado, caudal inyectado en los diferentes puntos de la red o variación de niveles en tanques de almacenamiento (Alcocer & Tzatchkov, 2007).

Según CONAGUA (2007), las diferentes formas de asignar la demanda partiendo de la facturación son las siguientes:

Asignación nodo por nodo: Este proceso consiste en relacionar cada usuario con un nodo del modelo y asignar su consumo a dicho nodo, buscando siempre referirlo al más cercano. La asignación de redes ramificadas es sencilla, en el caso de tener una red mallada, la asignación se hace de acuerdo con el criterio del modelador. Actualmente algunos organismos operadores cuentan con Sistemas de Información Geográfica (SIG), que facilitan la automatización de este proceso.

Asignación de consumos por sectores: Se suman los consumos de todos los usuarios que quedan dentro de un sector que coincida con la malla del modelo, se obtiene el consumo total del sector y se distribuye entre los nodos incluidos dentro del sector, en partes iguales. La

demanda en un nodo de asignación se obtiene sumando el consumo de todos los usuarios incluidos en el sector. Para este tipo de asignación de consumo se emplean el padrón de usuarios y el registro de facturación de estos.

Asignación de consumos unitarios por calle: Para este proceso se identifican las tuberías de la red de distribución con su respectiva longitud y con los datos de consumo de los usuarios, se obtiene el consumo por calle y el consumo unitario. La longitud de cada tubería se multiplica por el consumo unitario y se obtiene el consumo por tubería y utilizando la planimetría dentro del modelo esqueletizado, el consumo por tubería se convierte en consumo por línea trazada del modelo. Con este método, la demanda de los nodos se obtiene repartiendo los consumos por línea trazada entre los nodos extremos de la modelación que se suman a los consumos propios de los nodos. Este tipo de asignación es bastante precisa porque considera la ubicación real de las tuberías en la red.

4.1.19 Consumo de agua neto

Según López (2005), se clasifican en consumos públicos, doméstico e industrial. El consumo de agua neto se define como la cantidad de agua usada en cada una de las actividades que se realizan en una comunidad.

4.1.20 Caudal medio diario.

Se define como el promedio aritmético de los caudales día a día en un año (Corcho & Duque, 2005).

4.1.21 Caudal máximo diario.

Es el caudal máximo diario que se presenta durante 24 horas en un periodo de 365 días, es decir, el día del año en el que se presenta la máxima demanda del sistema (Torres, 2008).

4.1.22 Consumo máximo horario.

El consumo máximo horario es la mayor demanda que se presenta en una hora durante un año (Bejarano, 2013).

4.1.23 Coeficientes de consumo del caudal máximo horario.

En una población, a lo largo del día, el consumo de agua varía a cada momento de acuerdo con las costumbres y actividades que posea la población. La variación puede verse mejormente

marcada en poblaciones muy grandes, ya que la posibilidad de distintos hábitos de consumo es mayor que en una población pequeña, que suele presentar comportamientos más homogéneos. Es muy importante determinar los coeficientes de consumo de la población (Torres, 2008).

4.2 Factores de diseño para los acueductos en Costa Rica

Existen normativas que establecen los aspectos que se deben de acoger para que los diseños sean realizados de la misma forma, en el caso de Costa Rica, se debe de tomar en cuenta las normas técnicas existentes para el país, las cuales son emitidas por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Dicho ente está a cargo de la elaboración y actualización de la reglamentación técnica que rige el diseño, construcción, operación, mantenimiento y control de los sistemas de acueducto y alcantarillado.

Dentro de los parámetros importantes a considerar se mencionan los siguientes:

Velocidad:

- La velocidad máxima en redes de distribución es de 3,0 m/s. La velocidad máxima en líneas de conducción y de aducción es de 5,0 m/s y la mínima de 0,60 m/s.

Presión:

- La presión estática máxima será de 50 metros columna de agua (m.c.a) en el punto más bajo de la red (o en sectores planos). Se permitirán en puntos aislados presiones de hasta de 70 mca cuando el área de servicio sea muy quebrada. (AyA, 2017) .

4.3 Ley de Hidrantes

Según (Bomberos de Costa Rica, 2013), la conexión entre el hidrante y la red de tubería de agua potable no deberá en ninguna circunstancia contar con reducciones que restrinjan el diámetro nominal libre a menos de 150 milímetros (mm), en el caso de que se conecten hidrantes a una red de agua potable ya existente, el diámetro mínimo aceptado será de 100 milímetros (mm).

Si no existe un tanque de almacenamiento es necesario construir uno con una capacidad mínima de 57 m³ de agua e instalar una toma directa para bomberos, en los planos se debe incorporar el detalle de instalación del hidrante, del tanque y la toma directa cuando se amerite la instalación de estos últimos. En el caso en el que el hidrante se alimente de un pozo o tanque,

debe presentarse la memoria de cálculo que indique cual será el volumen de agua para consumo diario y cuál será la reserva de incendio, así como el caudal y la presión en el hidrante más alejado.

4.4 Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

El impacto ambiental producido por la construcción u operación de un proyecto se debe de analizar con el propósito de establecer las medidas de corrección necesarias para mitigar los impactos negativos y proponer alternativas de recuperación y control ambiental. (Gilpin,1995).

El propósito fundamental de la evaluación ambiental es detectar los aspectos positivos y negativos de una acción propuesta, para que, a la hora de tomar decisiones respectivas al tema, exista un fundamento real que respalde dicha decisión. Dentro de los requisitos a cumplir por parte de un estudio de impacto ambiental están:

- A. Determinar impactos ambientales adversos significativos de manera que se propongan las medidas correctivas o de mitigación.
- B. Elección de la mejor alternativa a la acción propuesta.
- C. Establecer un programa de control y fiscalización una vez implementado el proyecto, de tal forma que se puedan incorporar nuevas medidas correctivas o de mitigación.
- D. Elaborar un programa de recuperación ambiental (Quesada, 2011).

4.5 Estudio económico

Mediante estudio económico se analiza las necesidades de tipo económico y financiero que presentan a la hora de llevar a cabo un proyecto, con el propósito de analizar la rentabilidad del desarrollo de este. En dicho estudio, se pretende:

- La inversión económica necesaria y cómo se va a financiar.
- Estimar los costos y gastos que va a suponer la puesta en marcha del proyecto.
- Valorar los posibles ingresos para realizar un cálculo aproximado de los beneficios que puede dar el proyecto.

Valor Actual Neto (VAN): El valor actual neto de un proyecto es el valor actual presente de la diferencia entre los ingresos y egresos periódicos de un proyecto o propuesta.

Tasa interna de rendimiento/retorno (TIR): Es otro criterio utilizado para la toma de decisiones sobre los proyectos de inversión y financiamiento. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es la tasa de interés que, utilizada en el cálculo del Valor Actual Neto, hace que este sea igual a 0 (Ripoll, 2004).

5 METODOLOGÍA

5.1 Recursos utilizados

- Software para integración de Sistemas de Información Geográfica (GIS): Quantum GIS.
- Modelación de distribución de agua y software de análisis (MDASA): Bentley WaterCAD.
- GPS GARMIN.
- GNSS RTK GEOMAX ZENITH 25 PRO, RTK (Real Time Kinematic, RTK)
- Sensores de nivel de Agua.
- Software especializado para análisis de agrimensura y obras civiles (SEAOC): AutoCAD Civil 3D.
- Google Earth.

5.2 Visita de campo

Se realizó una visita al lugar para observar todos los componentes del sistema de abastecimiento, desde las captaciones, tubería de conducción, tanques quiebra gradientes, tanques de almacenamiento y tubería de distribución. La visita se realizó con el objetivo de conocer el estado de todas las estructuras y establecer las medidas a considerar para llevar a cabo el levantamiento topográfico.

5.3 Levantamiento topográfico

Mediante la utilización de la antena RTK, se realizó el levantamiento de la red de conducción y distribución, así como de elementos importantes como tanques y nacientes.

El equipo consta de 2 estaciones, una móvil y otra de referencia. Se configuró, primeramente, la estación base, en la cual es posible promediar un punto de interés con un intervalo de tiempo dado por el operador. Seguidamente se configura la estación móvil (Rover), con el cual se toman los puntos de interés mediante la utilización del tercer componente, la controladora, la cual, configura las 2 estaciones anteriormente mencionadas y es la que selecciona la precisión a trabajar, así como de la forma de trabajo. Esto permite que las estaciones móviles calculen sus posiciones relativas con precisión milimétrica, al mismo tiempo en que sus posiciones relativas absolutas son relacionadas con las coordenadas de la estación base.

Mediante el GPS, se realizó el levantamiento de todas las previstas domiciliarias ubicadas en la zona de estudio, considerando elementos medidos tanto con RTK como con GPS para llevar a cabo la relación y unificación de todo el levantamiento, para posteriormente ubicar el lugar mediante el programa Google Earth y Quantum GIS. A partir de las coordenadas obtenidas de cada punto usado, se generó las líneas de las tuberías de la red en el software Quantum GIS, para una mejor ubicación de estas utilizando imágenes satelitales. Con la información obtenida con ayuda del fontanero del lugar se creó una tabla atributos con información básica del acueducto como diámetros nominales y material de tubería y se etiquetó cada tramo de tubería con su diámetro nominal para facilitar el acceso a la información, así mismo se realizó con los medidores.

5.4 Recopilación de Datos

Mediante la recopilación de información básica del acueducto y la utilización del software QGIS, se desarrolló una capa con información relevante de todos los elementos de la red, esto con el fin de manejar con mayor facilidad la información del sector en estudio. La información recopilada se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Información de los catastros de red de acueductos a manejar.

Elemento	Información
Nacientes	Estado, aforos
Tuberías	Diámetro, material, reportes de fugas, SDR
Tanques de almacenamiento	Dimensiones, estado, caudal entregado a la red.
Tanques quiebra gradiente	Estado, dimensiones.
Usuarios	Abonado, tipo de consumo, consumo promedio mensual

5.5 Caudal de oferta

La Asada de Tucurrique cuenta con registros de aforos de las nacientes de interés, en cada naciente se cuenta con estructuras para poder captar el agua y depositarla seguidamente en los tanques quebra gradientes. Considerando para este caso los valores más críticos de producción

5.6 Dotación de agua

Para el cálculo de la dotación se utilizó el dato de personas por vivienda, realizado en el Censo 2011 del INEC para el cantón Jiménez, cantón al que pertenece al distrito de Tucurrique el cual, tiene un promedio por vivienda de 3,56 personas. Mediante los estudios del INEC se extrajo la cantidad de habitantes por vivienda, correspondiente al censo del año 2011. Como se cuentan con registros del número de abonados, se conocen la cantidad de acometidas y por ende, se puede obtener la población permanente de la comunidad.

5.7 Pruebas Volumétricas

Las pruebas volumétricas se realizaron para evaluar el funcionamiento del tanque principal de almacenamiento. La evaluación del tanque de almacenamiento se realizó mediante dos pruebas: la prueba de niveles y la prueba de estanqueidad.

5.7.1 Prueba de Niveles

Antes de iniciar la prueba se realizó una inspección general del sistema, verificando el estado del tanque en cuanto a estructura, así como las condiciones de entrada de agua al tanque, ya que, para realizar la prueba se requiere de flujos constantes, además, el sistema debió de estar funcionando normalmente sin ninguna interrupción

Para llevar a cabo la prueba de niveles, el sistema debía de estar en funcionamiento normal sin que se realizara ninguna interrupción. Una vez que se finalizó la prueba se retiró los sensores y se anotó las observaciones necesarias.

Para la prueba de niveles o curva de masas, se utilizó el equipo de sensores de nivel de Agua marca HOBO U20. Para esta prueba se programó los sensores para tomar lecturas cada 30 segundos, durante 24 horas, iniciando la toma de datos al tiempo cero y finalizando el proceso 24 horas después de iniciadas las pruebas.

Finalmente transcurrido el tiempo de la prueba, se descargó y procesó los datos obtenidos de la prueba de estanqueidad, para un mejor análisis es necesario exportar los datos a Excel, y realizar la diferencia entre los niveles medidos por el sensor del fondo menos el nivel del sensor superior para cada intervalo de tiempo seleccionado.

5.7.2 Prueba de Estanqueidad

La prueba de estanqueidad consta de una metodología dividida en 3 partes: una inspección previa de los componentes del sistema, la prueba volumétrica y el procesamiento de los datos. Se realizó la inspección previa para determinar si las válvulas de entrada y salida del tanque estaban en buen funcionamiento y presentaban un cierre total, identificando algún goteo o escape de aire, sumado a esto se inspeccionó si la estructura del tanque presentaba alguna fisura importante o tubos que presentaran fugas de agua.

Después de realizar la inspección, se procedió al cierre de la válvula de salida con el propósito de llenar el tanque a su nivel máximo de almacenamiento. Seguidamente se cerró la válvula de entrada para impedir el ingreso de agua al tanque, y se dio un tiempo prudencial para que el nivel de agua en el tanque se estabilizara, esto para evitar turbulencia dentro del mismo.

Seguidamente se colocaron los sensores de nivel de Agua marca HOBBO U20 dentro del tanque para tomar datos de los niveles de agua cada 30 segundos durante 24 horas. Se ubicó el primer sensor en el fondo del tanque y el otro en la parte superior de la estructura, sin que este tocara el agua.

5.7 Modelo Hidráulico

La modelación del sistema de abastecimiento se llevó a cabo mediante un software para dicha labor.

Se dibujó en AutoCAD la red de abastecimiento basado en la distribución de la red y la ubicación de los medidores correspondientes a cada usuario, utilizando las coordenadas georreferenciadas y cotas de los puntos del levantamiento topográfico. Se exportó el dibujo trazado al software de modelación para ingresar los datos de entrada del modelo.

Luego se ingresó la información de los elementos básicos de la red como el tanque de captaciones, almacenamiento y quiebra gradientes, atribuyendo los valores de cotas y

dimensiones de estos. Además, se ingresó las especificaciones de las tuberías que conforman la red, basado en las normas técnicas del AyA (2007).

Se realizó una modelación de periodo extendido con una duración de 24 horas con un tipo de estructura del modelo que contemplo todas las tuberías de la red y todos los elementos que componen el sistema, así como una asignación de demandas punto a punto utilizando los registros de facturación de micro medición con el que se obtuvo el consumo promedio de demanda, asignándolas a los nodos de las acometidas mediante el comando Demand Control Center del software WaterCad.

Seleccionando la modalidad de ejecución de la modelación, y, al ejecutarla se pueden obtener datos de velocidades y presiones, comparando dichos resultados con las normas que establece el AyA se pueden hacer las modificaciones requeridas para que el sistema trabaje dentro de los parámetros establecidos. Dentro de estos ajustes se pueden presentar el cambio de diámetros de tuberías, mejoramiento en zonas con presiones y velocidades críticas.

5.8 Análisis ambiental, social y económico del proyecto

Análisis ambiental

La evaluación del impacto que genera un proyecto siempre es de mucha importancia, esto porque los efectos negativos deben de ser los mínimos para poder garantizar un proceso en armonía con el ambiente, existen varias herramientas para evaluar de manera práctica dichos problemas, entre ellos se pueden mencionar el método de Arboleda este último es un sistema bastante amplio y cubre la mayor parte de los factores a considerar para una evaluación de impacto ambiental.

Análisis económico

Para la realización del análisis económico del proyecto, se consideraron las mejoras a realizarse en el sistema para cumplir con los parámetros estipulados por el AyA, basándose en lo anterior se realizó una serie de cotizaciones en busca de los requerimientos y precios de los materiales a necesitar para las mejoras en el sistema.

Además, se realizó un estudio para determinar la viabilidad económica, mediante técnicas de evaluación económica de inversiones, aplicando el método del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa de Interés de Retorno (TIR).

Análisis social

Por su parte el análisis social se llevó a cabo con una encuesta de preguntas de selección única realizada entre los usuarios del acueducto, además de las observaciones realizadas durante la ejecución del proyecto y los posibles cambios que se realicen para mejoras en el sistema, que puedan generar un impacto social o ambiental, ya sea de tipo positivo o negativo. Se busca justificar el proyecto mediante la aprobación y opinión de los usuarios, ante las posibles mejoras establecidas para la solución de los problemas presentados.

6 RESULTADOS

6.1 Ubicación de la zona del proyecto

El proyecto tuvo desarrollo en la comunidad de Tucurrique, cantón Jiménez, provincia de Cartago. Esta comunidad está ubicada al norte del cantón a una altura promedio de 777 msnm. y se encuentra sobre las coordenadas 1087684 Norte y 529993 Oeste, coordenadas CRTM05. El sector en estudio es el denominado como Tucurrique Centro, el cual es el de mayor extensión en el distrito, la ubicación de dicho sector se muestra en la siguiente Figura, la cual es una representación general del cantón y del Distrito en donde se encuentra la zona de interés,

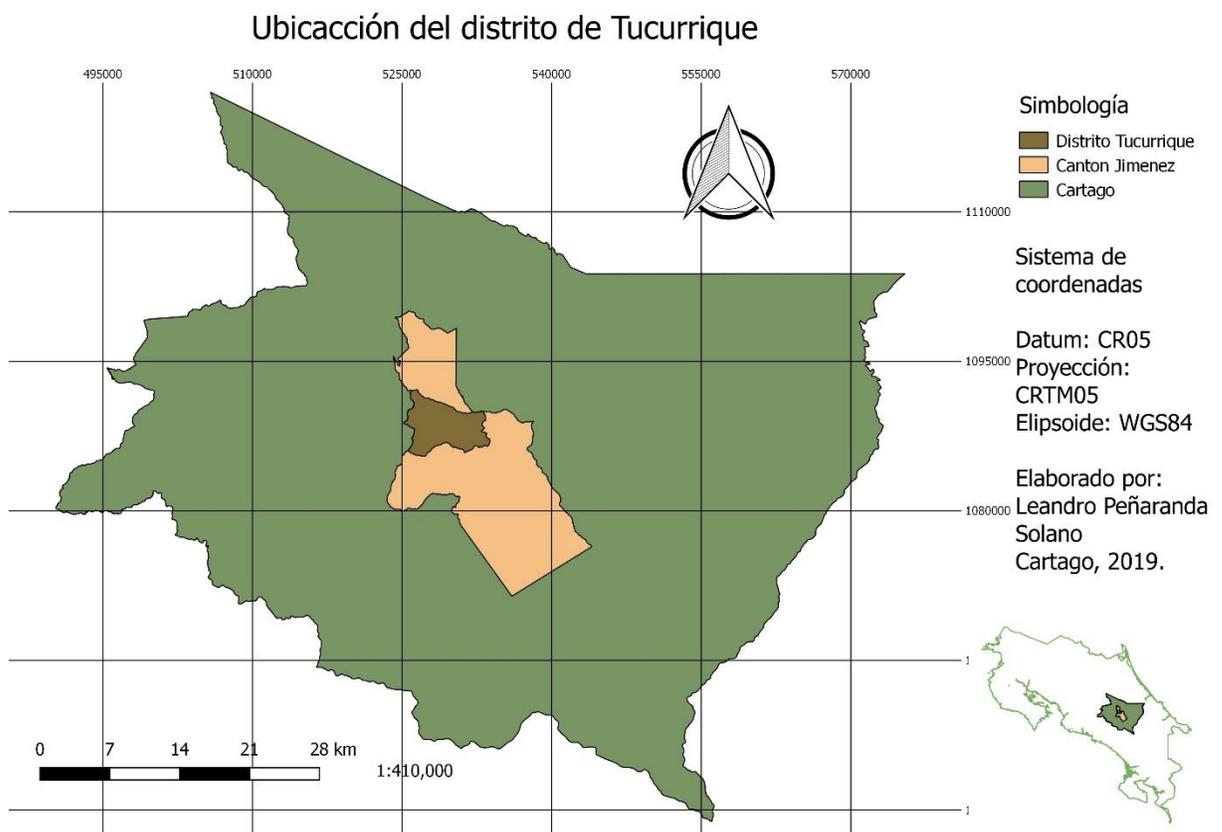


Figura 4. Mapa de ubicación de la comunidad de Tucurrique

6.2 Catastro de red y de usuarios

En la Figura 5 respectivamente se muestra la red de distribución utilizado por la ASADA de Tucurrique para abastecer a la población en estudio.

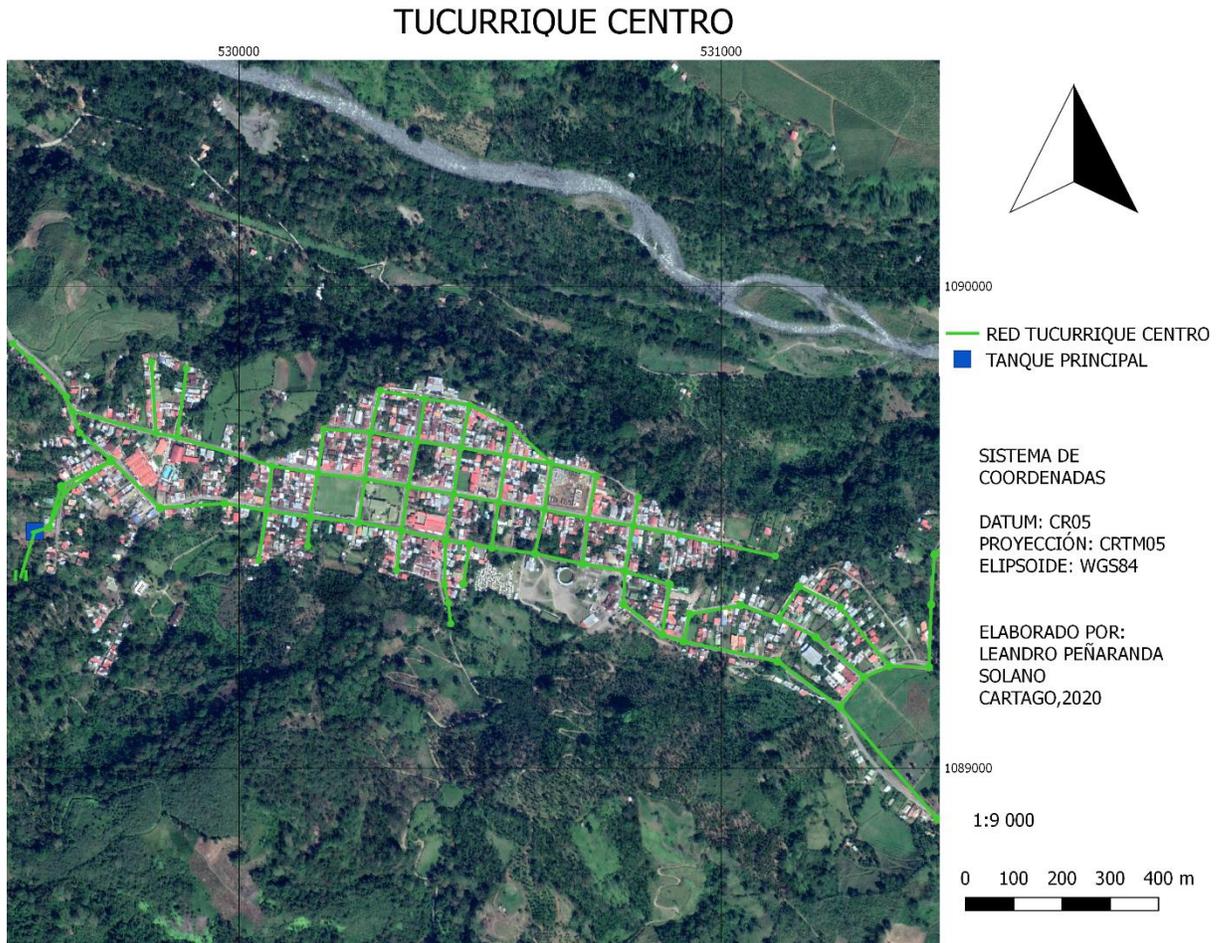


Figura 5. Red de distribución de la zona de estudio.

En la siguiente Figura (Figura 6), se muestra la red de conducción del sistema desde las nacientes hasta el tanque principal. El sistema posee 7 tanques quiebra gradientes a lo largo del recorrido, el punto donde se unen dichos tramos es un tanque quiebra gradiente, en el cual se unen los dos caudales producidos y se transportan hasta el tanque principal. Cada tanque quiebra gradiente posee un volumen de $7,5 \text{ m}^3$

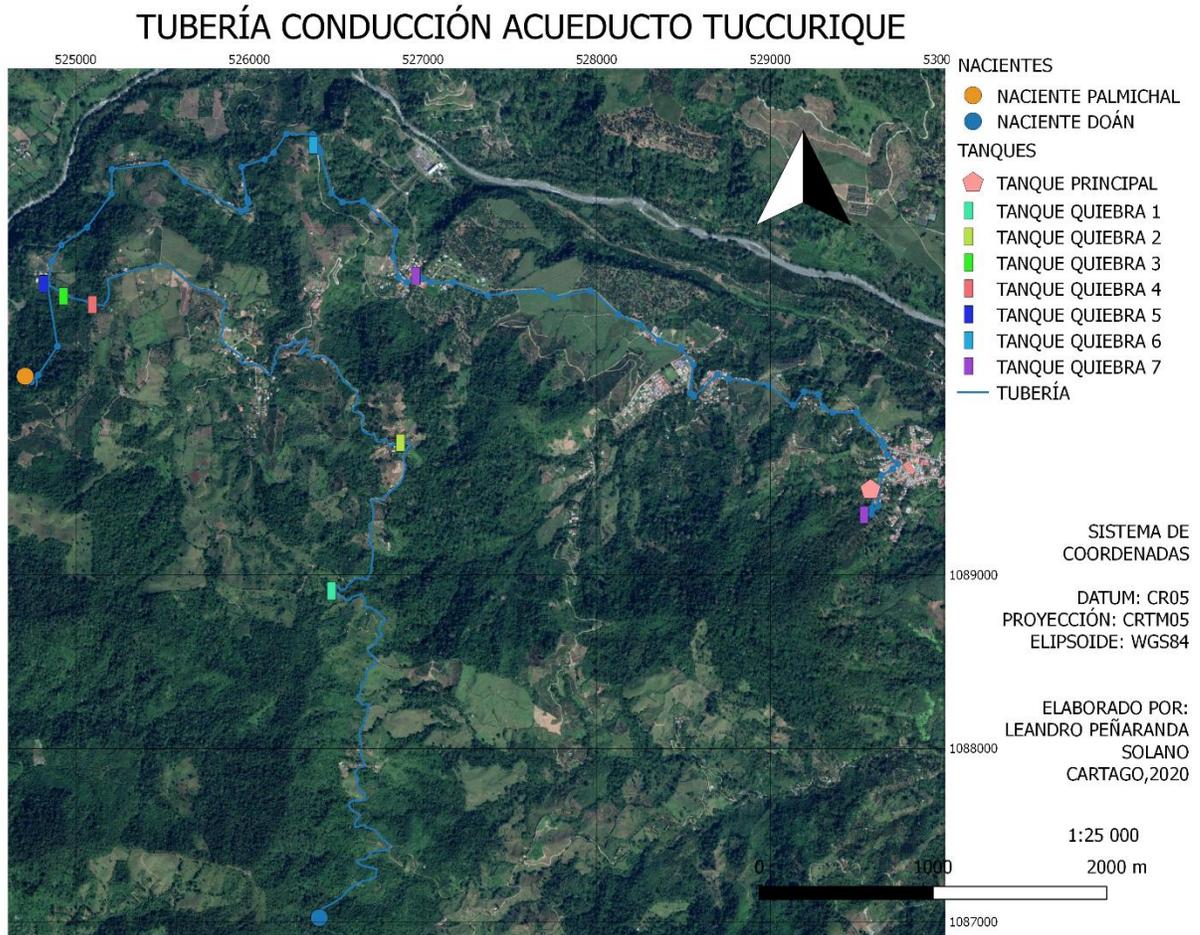


Figura 6. Red de conducción de la zona de estudio

A continuación, se muestra la Figura 7. la cual, presenta la distribución de alturas a lo largo del acueducto; desde las nacientes hasta el tanque principal, y sus respectivos ramales de distribución. Para una mejor visualización, se presenta el plano en la sección de Anexos (Anexo 5).

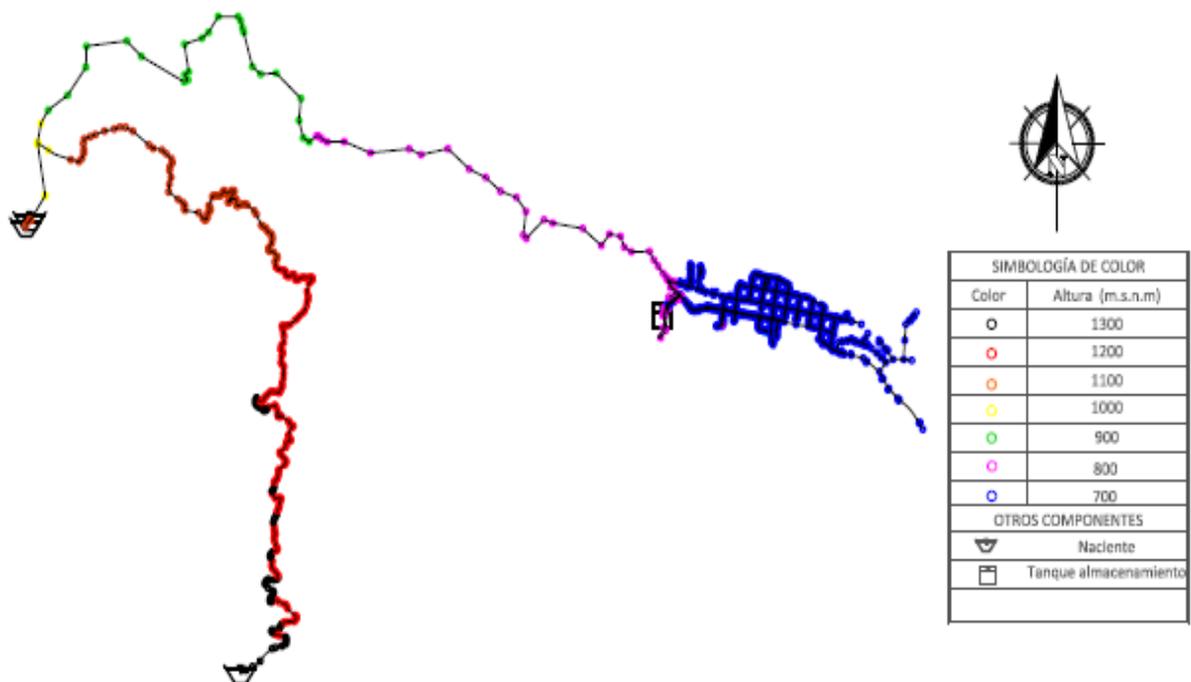


Figura 7. Rango de alturas en la red de estudio del acueducto de Tucurrique.

Con la información brindada por el acueducto y, lo obtenido mediante el levantamiento topográfico realizado, se obtuvo la información que se muestra en el siguiente Cuadro 7.

Cuadro 7. Información recopilada del acueducto.

Elemento	Información
Nacientes	SM19, SM20, Doán
Tanques de almacenamiento	Posee 1 de 400 m ³
Tanques quiebra gradiente	Posee 5 de 4,5 m ³
Usuarios	914

Se determinó que la tubería de conducción desde la Naciente Palmichal hasta el tanque principal es de PVC (Policloruro de Vinilo), SDR 26 con un diámetro nominal de 150 mm (6 pulgadas), y la longitud total de dicho tramo es de 8300 metros. El trayecto desde la naciente el

Doán hasta el tanque quiebra gradiente en donde se une con la tubería proveniente de las nacientes Palmichal, tiene una longitud de aproximadamente 7649, dicho tramo posee un primer trayecto en HD K9 (Hierro dúctil) de 295,5 metros hasta el taque recolector, seguido de un cambio de material a PVC SDR 17 de 150 mm (6 pulgadas) de 5668 metros, se produce un cambio de material a polietileno con un diámetro nominal de 100 mm (4 pulgadas) y con una longitud de 40 metros. Después se cambia a hierro dúctil (HD K9) con una longitud de 206 m. Finalmente se tiene una longitud de 1440 metros de PVC SDR 17 en 100 mm de diámetro nominal (4 pulgadas).

La red de distribución posee ramales en diámetros de 100 mm para las líneas principales, 75 y 50 mm para líneas secundarias y las previstas domiciliarias de 12,5 mm, todos con un SDR 26.

En la Figura 8 y 9 se presenta el plano respectivo con la distribución de los diámetros internos alrededor de toda la red de conducción y distribución, en la sección de Anexos, se presenta una vista más detallada de los elementos presentes, como lo son red de tuberías, tanques y nacientes.

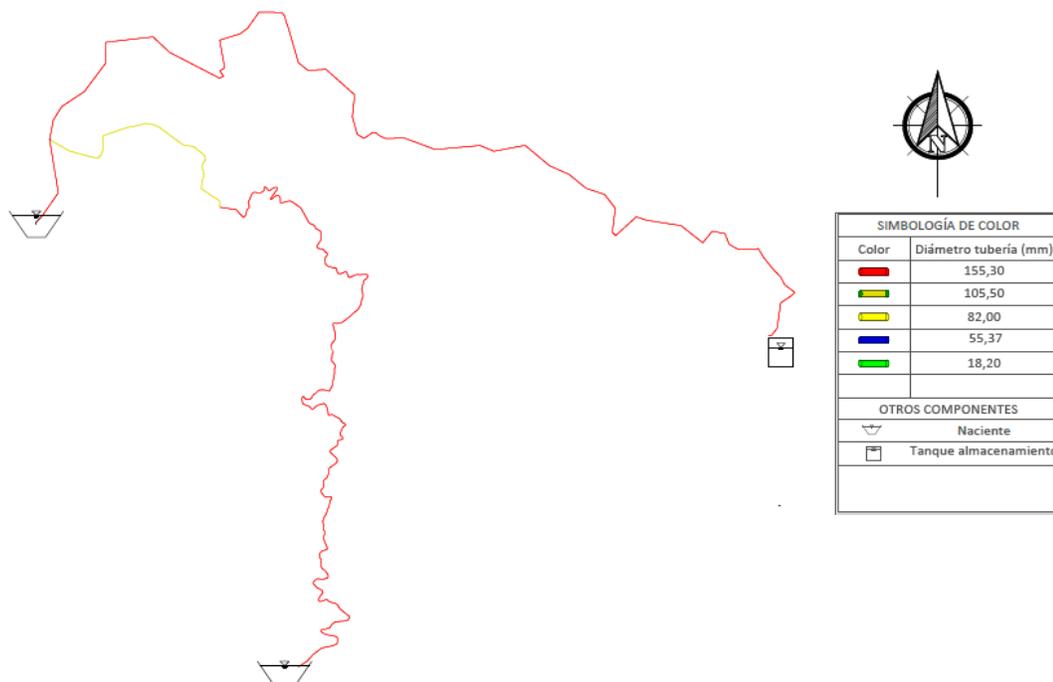


Figura 8. Diámetros utilizados en la red de estudio del acueducto de Tucurrique.

Para la tubería de distribución se tienen los diámetros mostrados en la siguiente Figura:

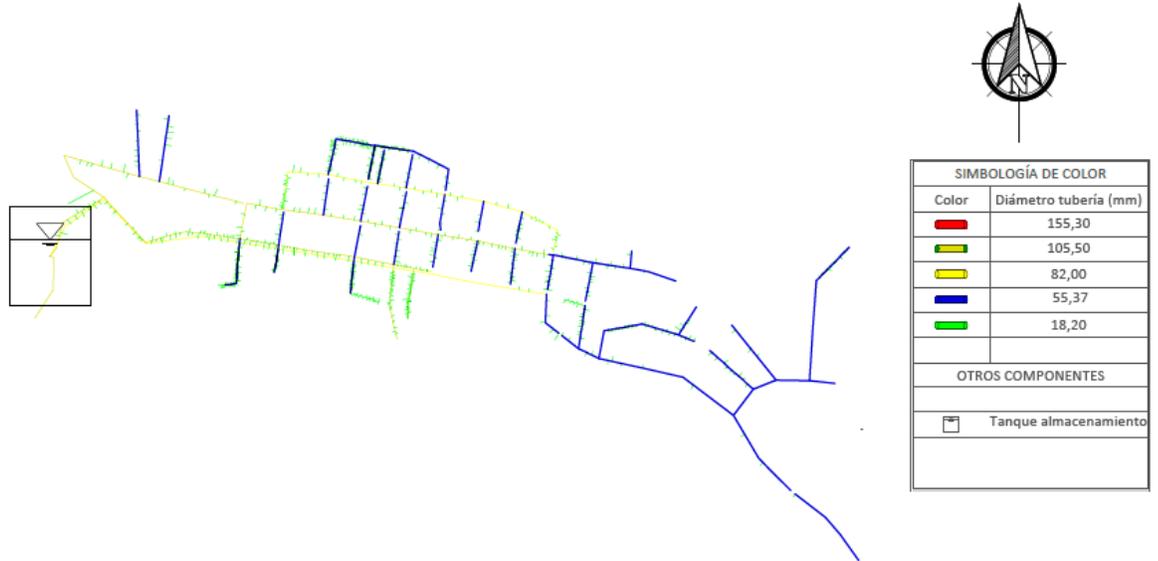


Figura 9. Diámetros utilizados en la red de distribución.

Según el catastro de usuarios realizado, muestra que existen actualmente 910 servicios registrados, de los cuales existen 832 consumos domésticos y 78 consumos comerciales. Los consumos comerciales corresponden a locales pequeños, tales como talleres de reparación, minisúper, municipalidad, plantas procesadoras, sodas, bares y demás.

6.3 Aforos de producción de agua

El sector de Tucurrique Centro se abastece mediante tres nacientes, las cuales se denominan nacientes SM19, SM20 y Naciente el Doán. Para cada naciente se realizan los aforos cada tres meses. El sistema de abastecimiento cuenta únicamente con un tanque de almacenamiento de 400 m³, además tiene 5 quebra gradientes de 4,5 m³ ubicados a lo largo de la red desde la naciente hasta el tanque principal de abastecimiento, dichos tanques presentan rebalse, el cual no es cuantificado. A continuación, se presenta el registro obtenido para las nacientes anteriormente mencionadas:

Cuadro 8. Producción de agua de las nacientes en litros por segundo.

Naciente	Aforo julio 2018 (l/s)	Aforo octubre 2018 (l/s)	Aforo enero 2019 (l/s)	Aforo abril 2019 (l/s)	Aforo agosto 2019 (l/s)
SM19	31,033	35,250	33,360	22,207	30,08
SM20	9,52	9,600	6,800	7,6	11,52
DOÁN	17,191	18,595	9,035	10,475	26,5

La misma no se aprovecha en su totalidad debido a que hay pérdidas por rebases y por fugas en los quiera gradientes, dichos fenómenos se presentan todo el año, siendo más fuertes en épocas de invierno, ya que la producción de agua aumenta. Es importante mencionar que, no se cuenta con la facilidad en el tanque principal para realizar aforos y verificar la cantidad de agua que le ingresa al mismo, además de que no se tiene un registro acerca de la cantidad de agua que se pierde por rebalse por lo que no se puede conocer a precisión la cantidad de agua no aprovechable.

En el caso de la naciente “Doán”, la producción de agua es utilizada para abastecer tanto al sector de Tucurrique como al pueblo de San Miguel, debido a la dificultad para conocer la cantidad de caudal derivado para cada pueblo se estableció por medio de la opinión de los fontaneros de la ASADA de que un 40% de esa producción es conducida hasta el sector de Tucurrique para abastecer el sector en estudio

6.4 Consumo de agua de la población

Para la determinación del consumo de agua de la población de Tucurrique Centro, se utilizaron los registros de medición que comprende el periodo completo del año 2018 y 7 meses del año 2019, en la Figura 10 se muestra el consumo total de metros cúbicos para el periodo en estudio.

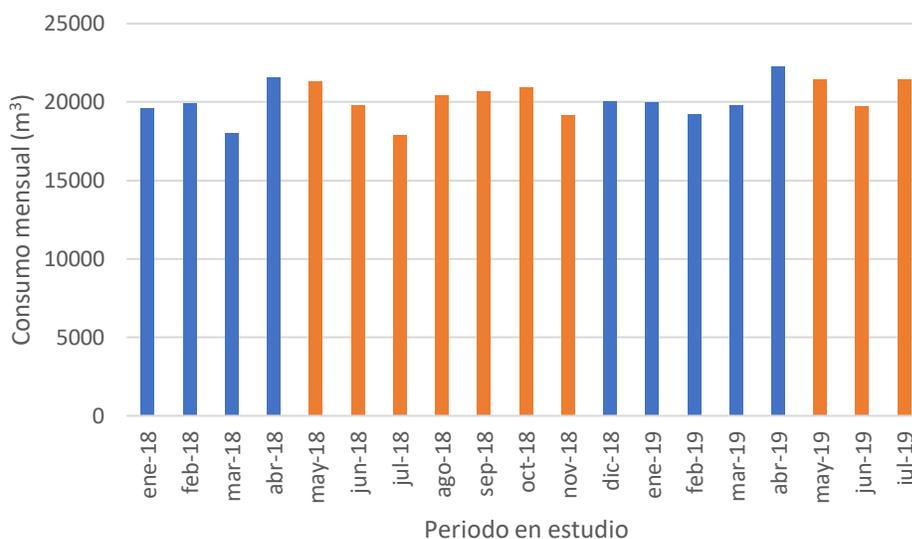


Figura 10. Consumo total por mes de la población del sector Tucurrique Centro

La Figura 10, muestra la variación del consumo de agua, para los meses de verano (color azul) y los meses de invierno (color naranja). Como se observa el consumo es similar durante todo el año, sin embargo, se muestra un incremento en el consumo de agua en los meses de verano, presentándose el pico máximo en abril; siendo también el mes que presenta menor producción de agua según el registro de aforos mostrado anteriormente, asociando dicha información con el registro de aforos donde se tiene que en el mes mencionado la producción de agua es menor. Es decir, se presenta un mayor consumo de agua por parte de la población y una disminución de producción debido a la estación seca.

Según los registros de facturación se cuentan con 914 acometidas domiciliarias totales, distribuidas en usuarios comerciales y domésticos, siendo en mayor cantidad este último tipo de consumidor.

De acuerdo con los registros de facturación del acueducto, el 11% del consumo total corresponde a los consumos comerciales, mientras que el restante 89% corresponde al consumo doméstico, que representa un total de 836 acometidas domiciliarias. Con respecto a lo anterior se determina que el consumo mayor del agua facturada por la ASADA es de consumo domiciliar utilizada en sus diferentes labores cotidianas.

6.5 Análisis de las dotaciones de agua

Con los registros de consumos mostrados anteriormente facilitados por la ASADA, se realizó el cálculo para la dotación, utilizando el dato de consumo mayor obtenido que es de 20541 m³/ mes, obtenido de los meses de abril.

Como se mencionó en la sección de metodología para el cantón de Jiménez, se tiene un promedio por vivienda de 3,56 personas. Con el dato del INEC se obtiene que la población sería de 2976 personas, correspondientes a 836 acometidas domiciliarias, por lo que se usó esta población como la población permanente de la comunidad. A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Cálculo de la dotación diaria para la zona en estudio.

Consumo total (m³/mes)	Consumo doméstico (m³/mes)	Consumo por vivienda (m³/mes)	Consumo por usuario (m³/mes)	Dotación (l/p/d)
20541,00	18423,00	22,03	6,19	209,00

Al analizar las dotaciones recomendadas en la *Reglamentación Técnica para Diseño y Construcción de Urbanizaciones, Condominios y Fraccionamientos del AyA (2007)*, para zona rural se establece un valor de dotación de 200 l/p/d (litros por persona por día), este valor se utiliza cuando no se tienen registros de consumo para poder realizar el cálculo de dotaciones, para este caso, se utiliza el calculado y mostrado en el Cuadro 9.

Con la cantidad de acometidas y su debida distribución en usuarios comerciales y domiciliarios, se obtuvo un consumo promedio de los usuarios y de los locales comerciales, dicho valor representa la demanda base por acometida, la cual se utilizará en la modelación, los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Cálculo del factor de la demanda base domiciliar y comercial.

Clasificación	Consumo promedio mensual (m³/mes)	Demanda base (l/s)
Domiciliar	21,99	0,008
Comercial	29,17	0,01

6.6 Análisis de las pruebas de estanqueidad y prueba de niveles

En el Cuadro 11 se detallan las dimensiones del tanque principal, que abastece al sector en estudio, y en el cual se llevaron a cabo las pruebas

Cuadro 11. Dimensiones del tanque principal de almacenamiento.

PARÁMETRO	MAGNITUD
Largo interno (m)	18,85
Ancho interno (m)	9,00
Altura total (m)	2,65
Altura efectiva (m)	2,45
Volumen efectivo (m ³)	400,00

Para obtener el volumen se consideran los valores tanto del largo como del ancho interno, que corresponde al área efectiva de contacto con el agua.

6.6.1 Prueba de estanqueidad

En la Figura 11 se observa el comportamiento obtenido durante la prueba. Se evidencia que los niveles presentan unos pequeños incrementos, lo cual se justifica por la precisión del equipo utilizado, pues los sensores son sumamente sensibles a la variación milimétrica en el nivel del agua. Por lo tanto, una pequeña onda generada en el agua contenida en el tanque podría significar un aumento de milímetros en el nivel, se presenta una tendencia de los datos decreciente conforme avanza el tiempo transcurrido.

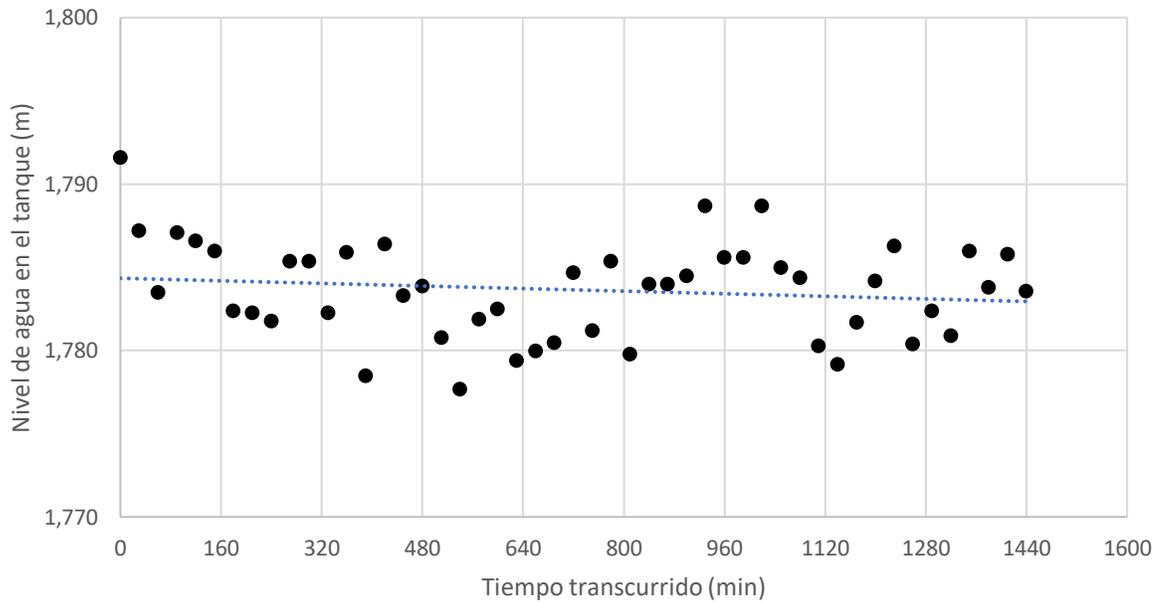


Figura 11. Variación de los niveles de agua en el tanque durante la prueba de estanqueidad.

De acuerdo con los resultados obtenidos se decidió realizar una curva de mejor ajuste para los datos, obteniendo la siguiente ecuación:

$$h = -0,00000454 * t + 1,96076573$$

Donde:

h : representa el nivel de agua (m)

t : representa el tiempo (min)

Con la ecuación de mejor ajuste el resultado de la variación es de 1 mm. a partir de la tasa de pérdidas obtenida y las dimensiones del tanque, se puede calcular el volumen de agua perdido durante la realización de la prueba de estanqueidad, el cual fue de $0,16 \text{ m}^3$, dado este resultado se puede concluir en base a esta prueba, que la estructura del tanque de almacenamiento cuenta con una buena consistencia

Las variaciones presentadas son mínimas, las cuales como ya se mencionó se atribuyen a fenómenos de movimientos mínimos en el nivel del agua, mas no a posibles fugas en el tanque, ya que es muy poca la variación presentada a lo largo de 24 horas.

6.6.2 Prueba de Niveles

Según la curva de masa o prueba de niveles, el comportamiento de los niveles del tanque se muestra en la Figura 12.

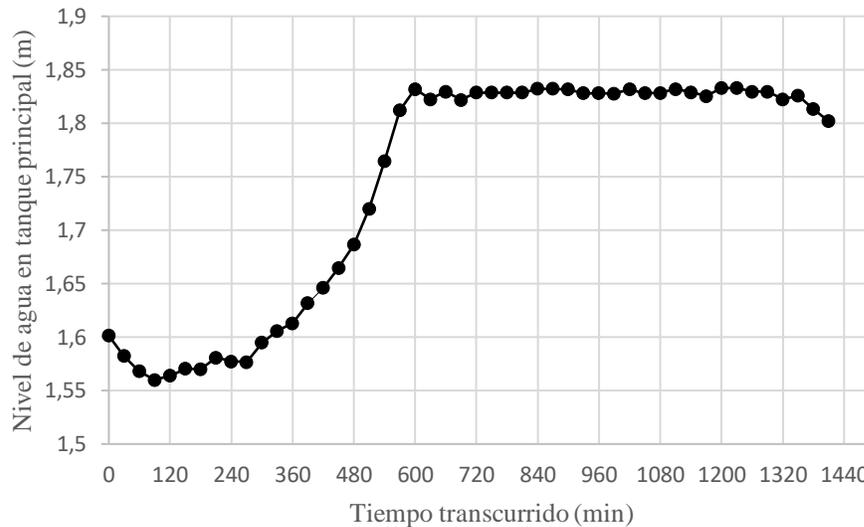


Figura 12 . Niveles de agua del tanque de Tucurrique para 24 horas de medición

. La toma de datos se inició a las 12:00 p.m. del día 04 de setiembre del año 2019, finalizando la misma hora del día siguiente. Se estableció como hora cero (0), la hora de inicio de la prueba y se finalizó hasta completar las 24 horas.

Como se observa en la Figura 12, el comportamiento del nivel en el tanque varía con respecto al transcurso del día; en el lapso de 0 a 360 minutos (12:00 p.m. a 6:00 p.m.), hay una disminución en el nivel del tanque, referido al consumo presentado en ese lapso, a partir de 360 minutos hasta los 600 (6:00 p.m. a 10:00 p. m) el nivel del tanque aumenta dado que el ingreso de agua al mismo es mayor que la salida, no hay un consumo constante como en las horas anteriores. Desde los 600 minutos a los 1200 (10:00 p. m a 8:00 a.m.) se presenta el fenómeno de que el nivel tanque se encuentra constante, esto debido a que el mismo está lleno y el exceso es desviado por el rebalse del mismo, aproximadamente después de esa hora, el nivel del tanque empieza a disminuir por el consumo que se da en la comunidad, iniciando el mismo comportamiento, presentando ciertas variaciones ya que, el consumo de agua no es igual para todos los días.

Mediante los niveles del tanque para una duración de prueba de 24 horas, es posible determinar un factor de consumo de la población, el CPH máximo corresponde a 16,5 l/s, que se presenta a medio día, dicho dato se observa en el Anexo 1. A continuación, se muestra la Figura 13, que representa el comportamiento del consumo a lo largo del día.

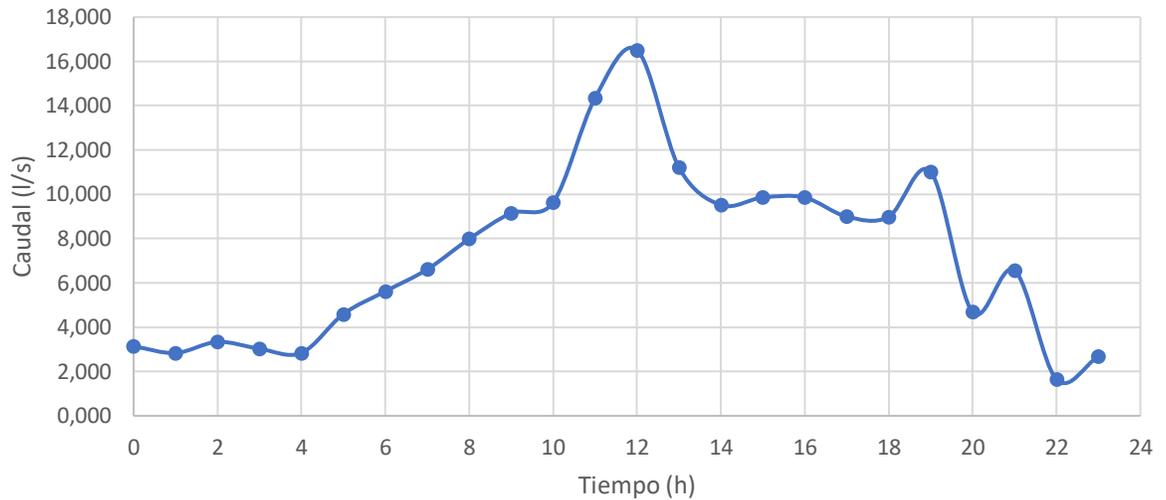


Figura 13. Factor de consumo de la población.

En la Figura 13 se muestra el comportamiento del consumo del agua de la población, donde se observa un ascenso en el caudal consumido hasta el mediodía, a partir de ahí se disminuye el consumo, esto debido a que las labores domésticas con el uso del agua tienden a disminuir.

Con respecto a la relación entre el CPH y el caudal de entrada, se obtiene el factor de consumo horario, dicho valor es necesario para establecer los parámetros respectivos de la modelación dinámica. A continuación, se muestra la Figura que representa el factor del consumo a lo largo de 24 horas, que corresponde al tiempo de realización de la prueba de niveles.

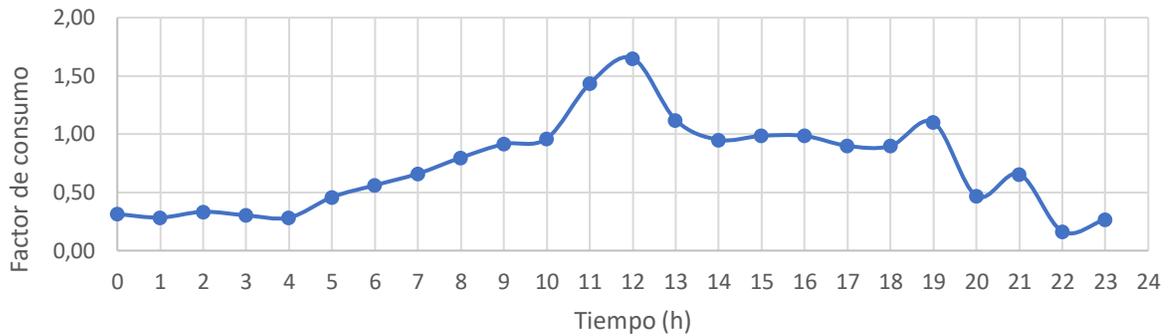


Figura 14. Representación gráfica del factor de consumo horario obtenido.

Observando el comportamiento mostrado en la Figura 14 se tiene que el consumo promedio horario en las primeras horas de la madrugada y a partir de las 5 de la mañana, aumenta el consumo en la población, hasta lograr su punto máximo de consumo a la 12:00 p.m. A partir de la hora mencionada se presenta una disminución en los consumos. Las horas de mayor demanda de caudal se encuentran entre las 10:00 a.m. a las 2:00 p.m.

6.7 Modelación hidráulica

. En las Figuras 15 y 16 se muestra una representación del modelo, específicamente para el tramo de conducción y para el tramo de distribución respectivamente. Cabe mencionar que presentan por aparte debido al tamaño del modelo, pero la modelación como tal si se realizó de manera conjunta.

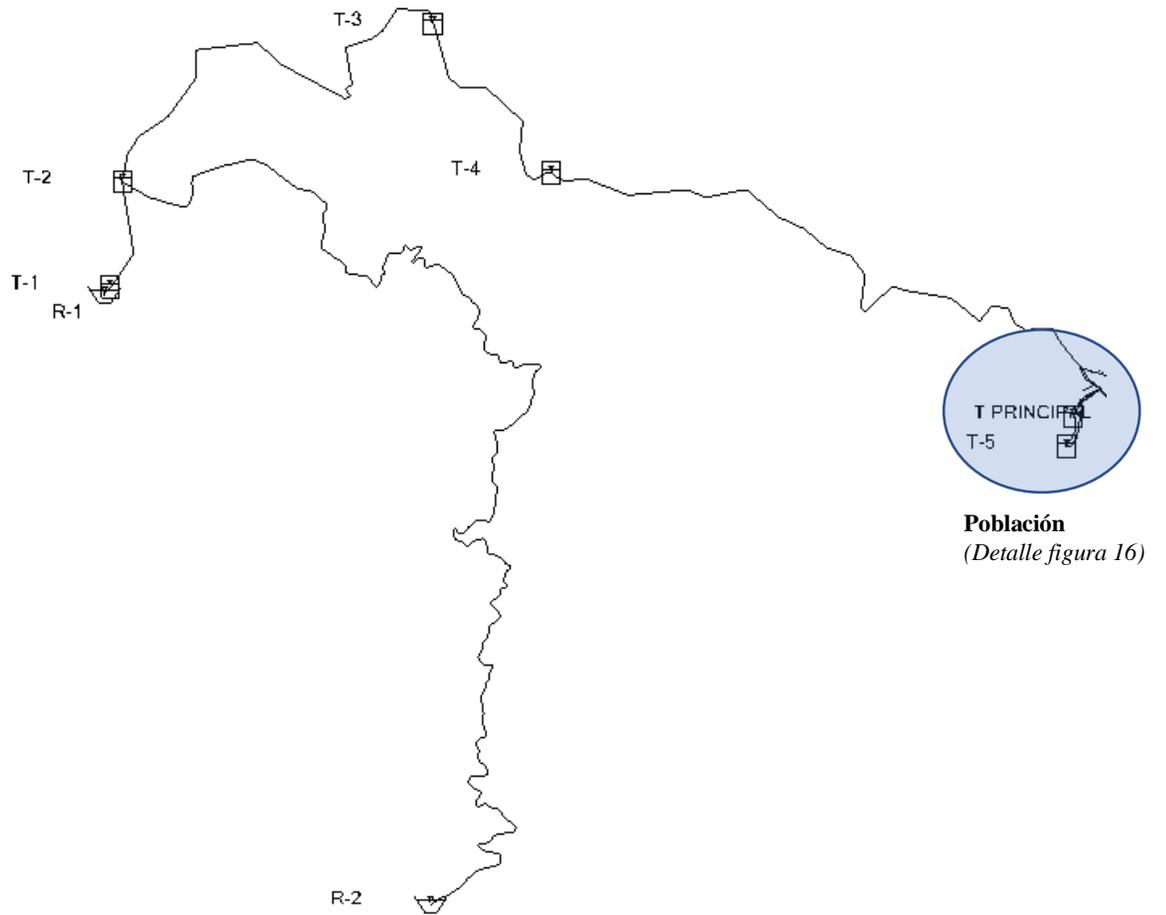


Figura 15. Diagrama respectivo de la red de conducción para la modelación en WaterCAD.

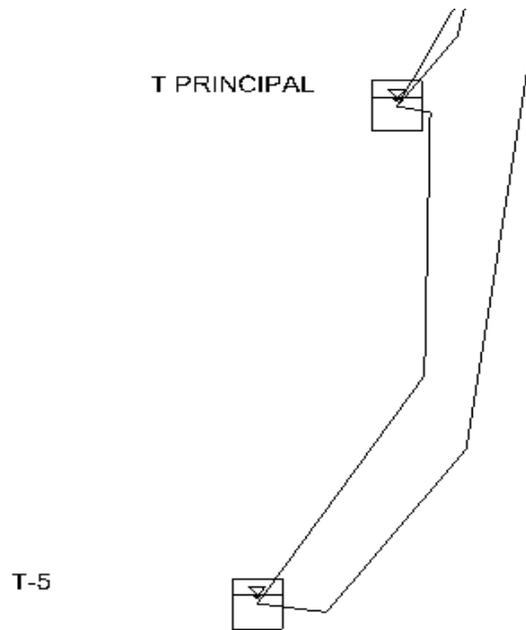


Figura 16. Detalle tanque principal

En la Figura anterior se muestra el diagrama respectivo de la tubería de conducción desde las nacientes identificadas como “R1” y “R2” hasta el taque principal, circulando por los tanques quiebra gradientes distribuidos a lo largo de la línea de conducción, identificados como “T” y el número consecutivo respectivo.

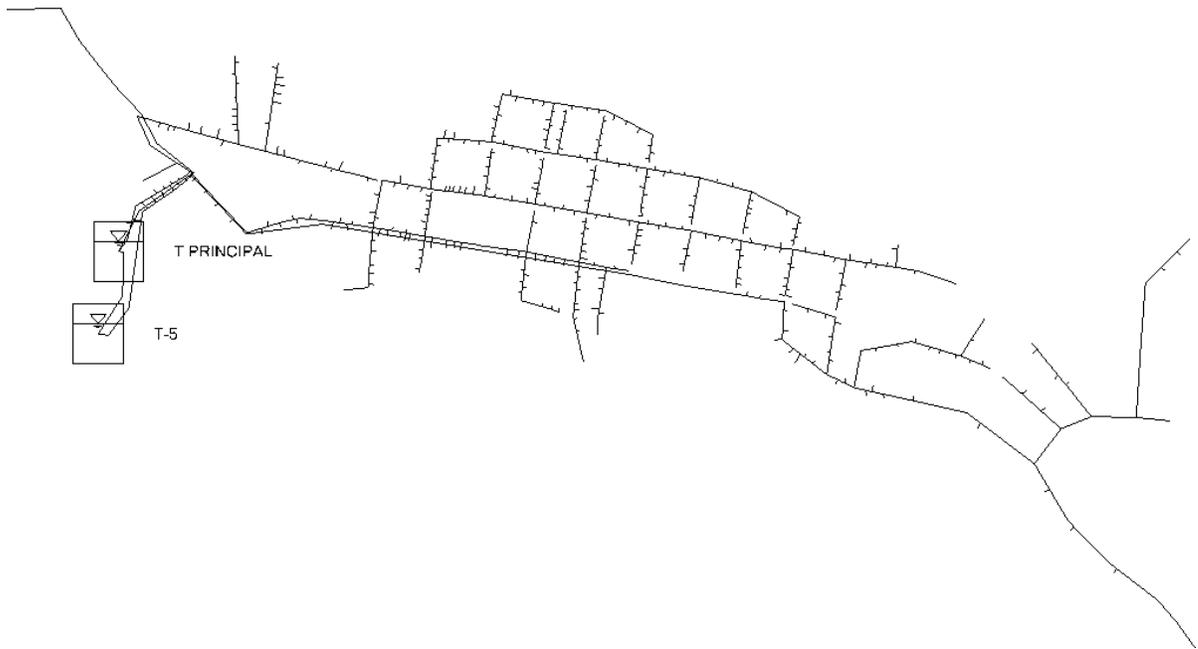


Figura 17. Diagrama respectivo de la red de distribución para la modelación en WaterCAD.

Se realizó una modelación dinámica o modelación en periodo extendido para determinar la variación temporal de los distintos parámetros del sistema, que definen los cambios de las variables del sistema.

La Figura 17, representa las presiones con la que operan los nodos a lo largo de la red para una modelación en período extendido. Los valores de la Figura 17 son los resultados para la hora 12:00 p.m. del período extendido. Esto pues, como se mencionó anteriormente, es la hora de mayor demanda de caudal. En la sección de Anexos, se presenta el plano con las dimensiones adecuadas para una mejor visualización.

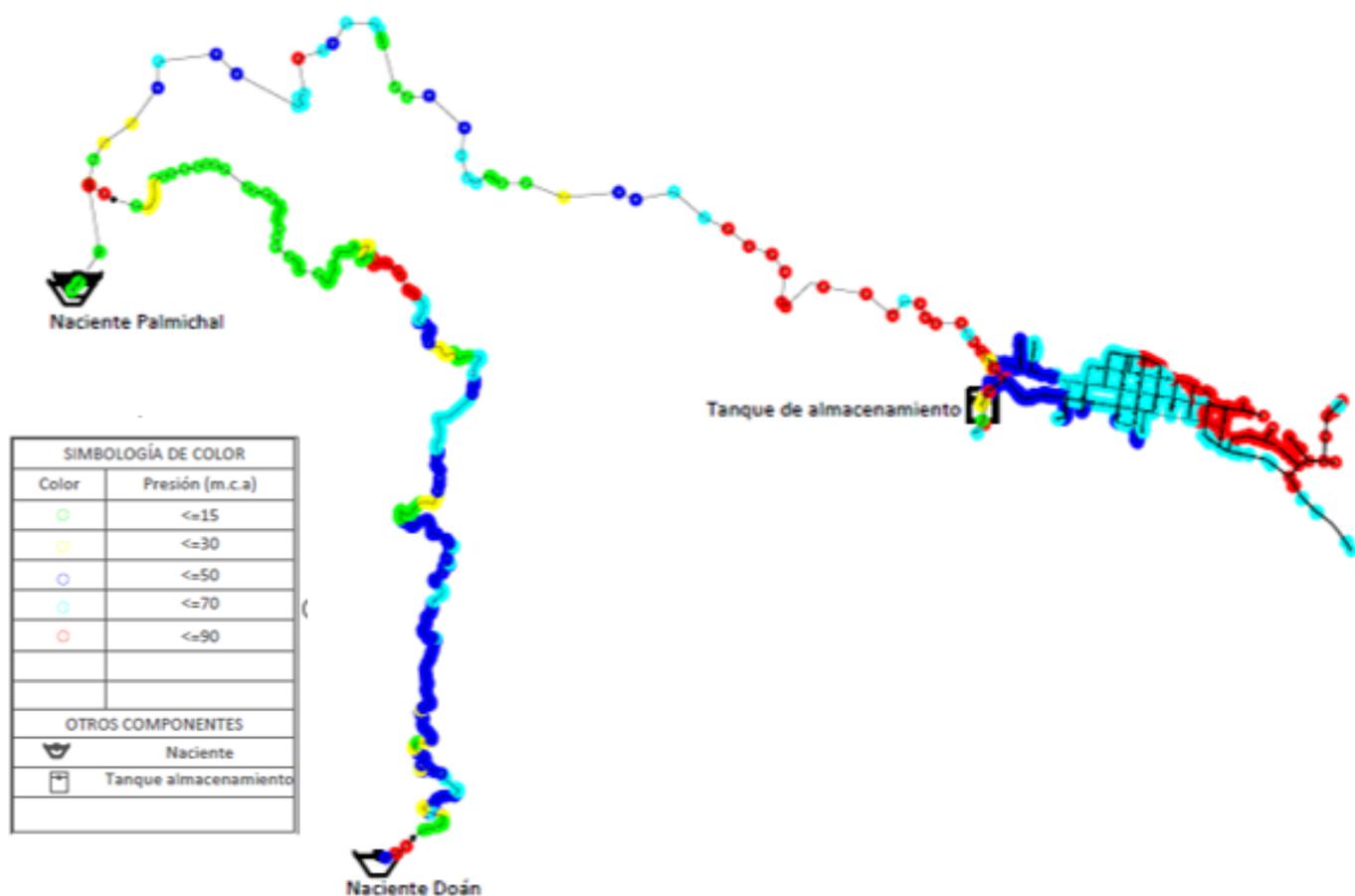


Figura 18. Distribución de Presión en la red.

Tal como se observa en la leyenda, los nodos del sector central de la comunidad presentan mayormente presiones sobre los 50 m.c.a., que, según el AyA en su norma técnica de diseño, debe de ser la presión máxima a la cual debe de trabajar el sistema en terreno plano, e incluso se presentan sectores en donde la presión es 90 m.c.a, específicamente en el sector más bajo del acueducto

En el Cuadro 12 se presentan los valores más críticos de presión obtenidos a lo largo de toda la red, es decir el valor máximo y valor mínimo.

Cuadro 12. Valores críticos de presión obtenidos.

Presión	Valor (m.c.a)	SDR	Valor de trabajo según SDR (m.c.a)
<i>Presión mínima</i>	<i>1</i>	<i>26</i>	<i>112</i>
<i>Presión máxima</i>	<i>97</i>	<i>26</i>	<i>112</i>

La presión más alta del acueducto se encuentra en el sector cercano a la entrada del tanque, que corresponde al punto en donde, la tubería de conducción empieza a subir hacia el tanque. Es uno de los puntos más bajos del acueducto. Mientras que la presión mínima (1 m.c.a), se encuentra en los puntos cercanos a la Naciente Palmichal, dado que el terreno en dicho lugar es muy uniforme.

Las velocidades en el sistema son inferiores a las recomendadas, debido a los diámetros utilizados, la norma del AyA establece valores permitidos de velocidades entre el rango de 0,50 – 3,00 m/s. Como se muestra en la Figura 19, las velocidades no entran dentro del rango permitido por el AyA.

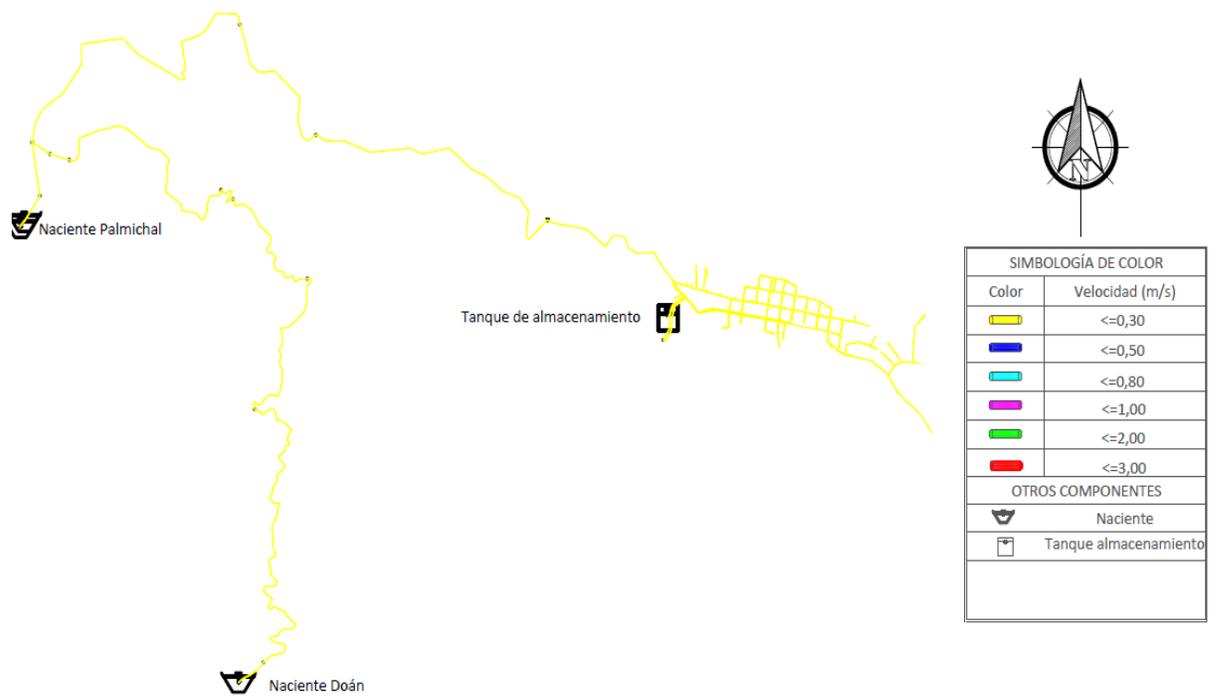


Figura 19. Distribución de velocidades en la red.

La velocidad de flujo en el sistema es de 0,3 m/s, por lo que se tendrán problemas de sedimentación en las tuberías y puntos bajos del sistema,

Las condiciones obtenidas en la prevista más alejada del tanque, se muestran en la siguiente Figura, sobre la cual, se presenta el comportamiento de la presión y la demanda a lo largo de las 24 horas de análisis. La máxima demanda de caudal se presenta al medio día, misma hora en la que la presión es mínima. En los momentos donde existe mayor consumo, la presión disminuye.

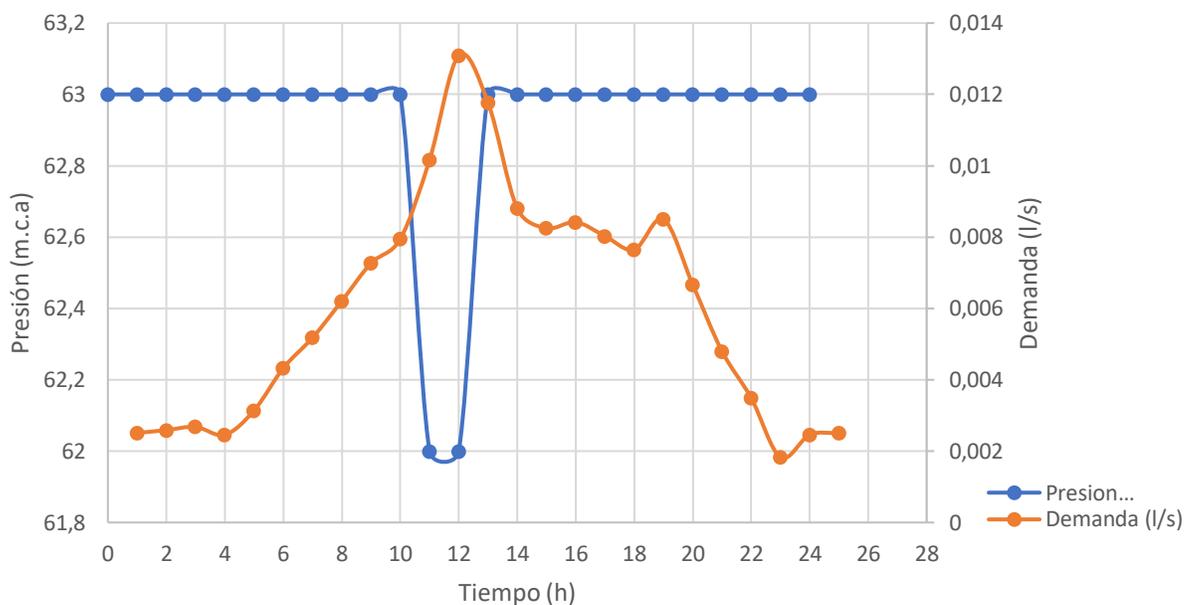


Figura 20. Comportamiento del nodo más alejado de la red.

6.7.1 Propuesta de mejora 1

Considerando que, los resultados obtenidos de la modelación hidráulica con respecto a la presión en varios tramos, es mayor a lo establecido por la norma técnica del AyA. Para solucionar el problema de las sobrepresiones fue necesario la implementación de válvulas reguladoras de presión, las cuales están ubicadas en distintos tramos de la red de distribución, ya que es la zona más plana del acueducto, a continuación, se muestra la Figura 21 que presenta la ubicación de las válvulas en el sistema para el control de sobrepresión, se coloca el plano en la sección de Anexos para una mejor visualización.

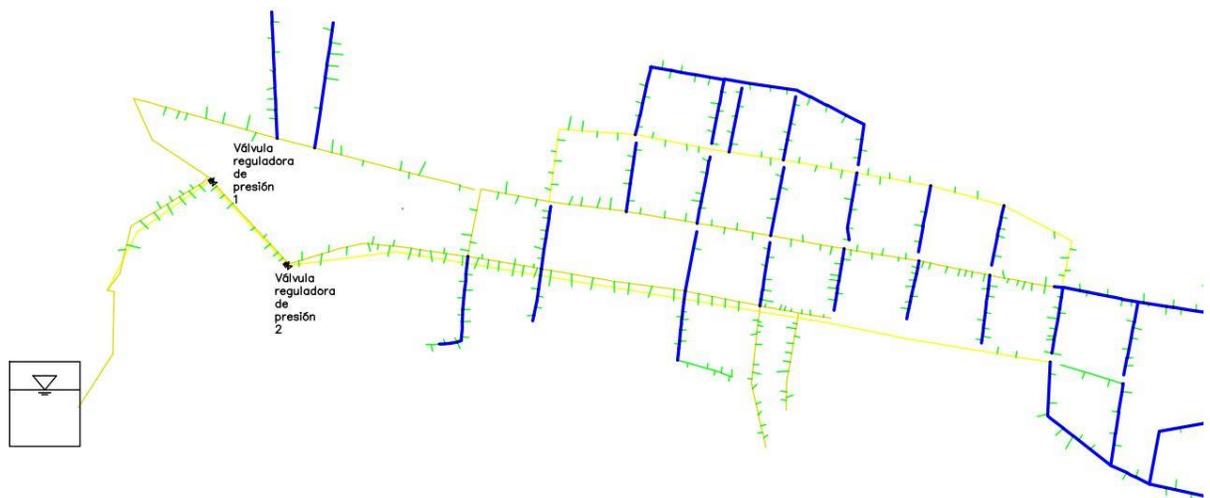


Figura 21. Distribución de válvulas reguladoras de presión.

Se muestra seguidamente en la Figura 22, la distribución de presiones que posee el sistema con la adaptación de las válvulas reguladoras de presión tanto para el sector de conducción como para la distribución.

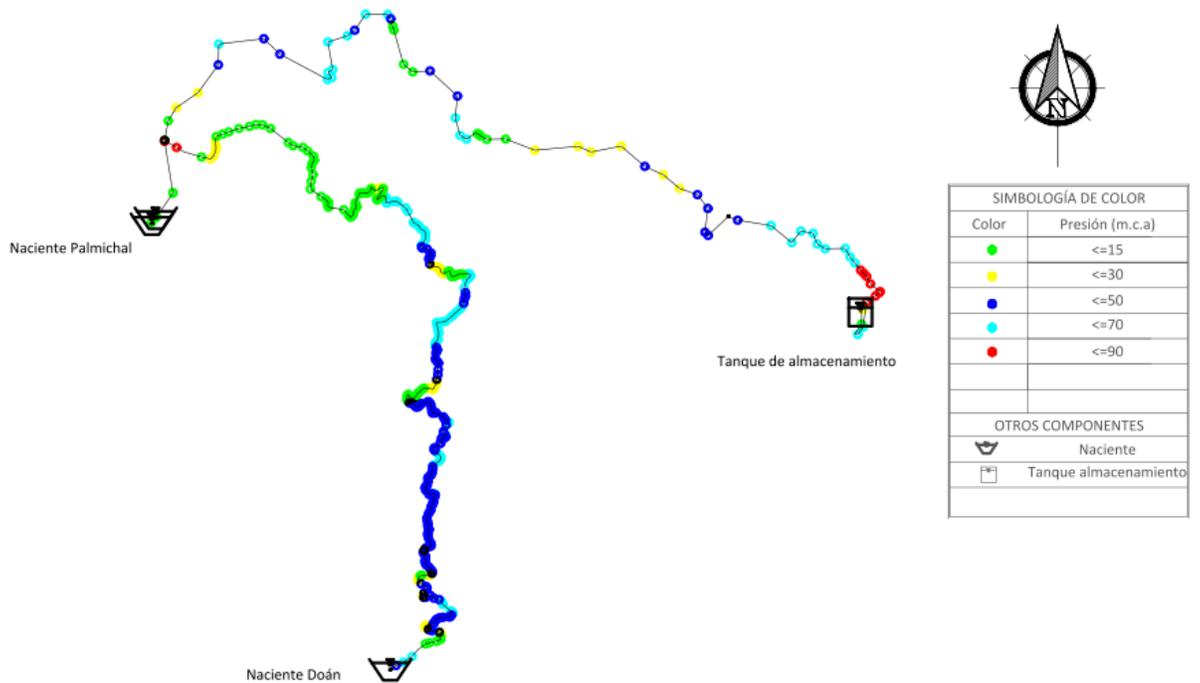


Figura 22. Distribución de presiones en la red de conducción

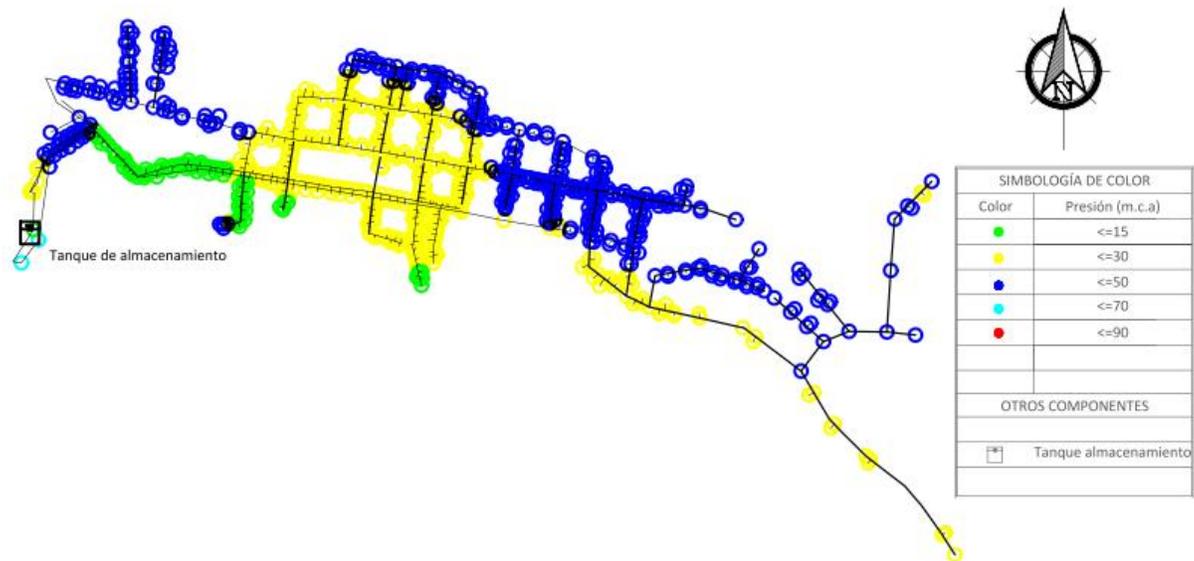


Figura 23. Presiones en la red de distribución con las mejoras establecidas.

Como se observa en la Figura anterior, la mayor parte del sistema trabaja en el rango permitido por la norma, sin embargo, existe 1 tramo de 500 metros en la conducción que sigue sobre presionando por encima de los 70 m.c.a, dicho se identifica con coloración roja. Esta situación no es inconveniente ya que la norma técnica del AyA en lo referente a la presión establece condiciones sobre la tubería de entrega de servicio, es decir la de distribución

En el siguiente Cuadro se muestra la presión mínima y máxima registrada para la propuesta de mejora.

Cuadro 13. Presiones obtenidas con la propuesta 1.

Presión	Valor (m.c.a)	SDR	Valor de trabajo según SDR (m.c.a)
Presión mínima	1	26	112
Presión máxima	80	26	112

La presión máxima está por encima de lo permitido en 100 m.c.a, la tubería instalada cuenta con un SDR de 26 con una presión de trabajar de 112 m.c.a.

Uno de los problemas que se mantiene en el sistema aun con la incorporación de las válvulas, son las bajas velocidades, como se considera utilizar los mismos diámetros originales, las velocidades de la red no van a variar significativamente como lo muestra la Figura 24.

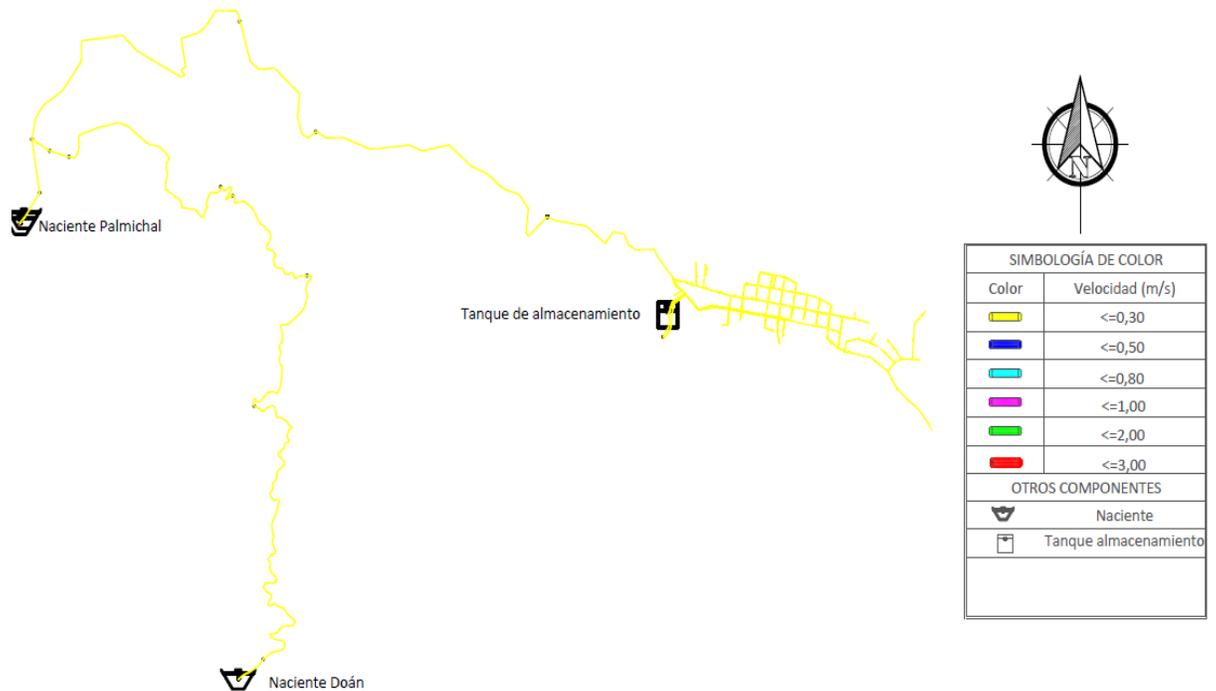


Figura 24. Velocidades obtenidas en la red.

6.7.2 Propuesta de mejora 2

La segunda propuesta de mejora va en función de la utilización de diámetros mínimos permitidos por el AyA en la red de distribución. El diámetro óptimo a considerar en la red es de 100 mm (4 pulgadas), para que exista la posibilidad de instalar un hidrante en una zona poblada. Sin embargo, en sitios de desarrollo limitado se considera y se acepta el diámetro de 3 pulgadas (75 mm).

El cambio de diámetros se recomendó realizarlo en las tuberías de distribución a lo largo de la red que no cumplan con lo establecido en la norma del AyA, en la Figura 25 se muestra dicha distribución realizada en donde, se cambió de 3 a 4 pulgadas y, en el caso de los diámetros

menores se realizó el cambio a 3 pulgadas. En la sección de Anexos se muestran una mejor visualización de la distribución de diámetros.

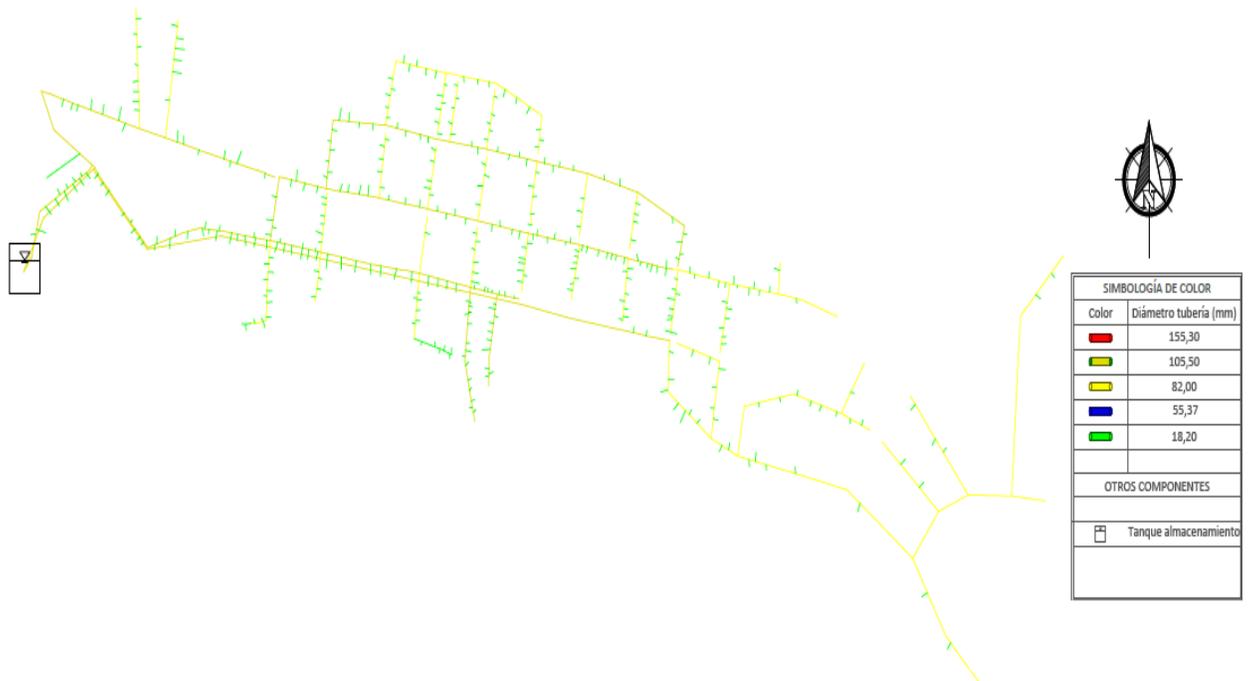


Figura 25. Distribución de diámetros recomendados por AyA

Se analizó el comportamiento en la red para la segunda propuesta, como se muestra en la Figura 26, el sistema sigue con presiones por encima de los 50 m.c.a.

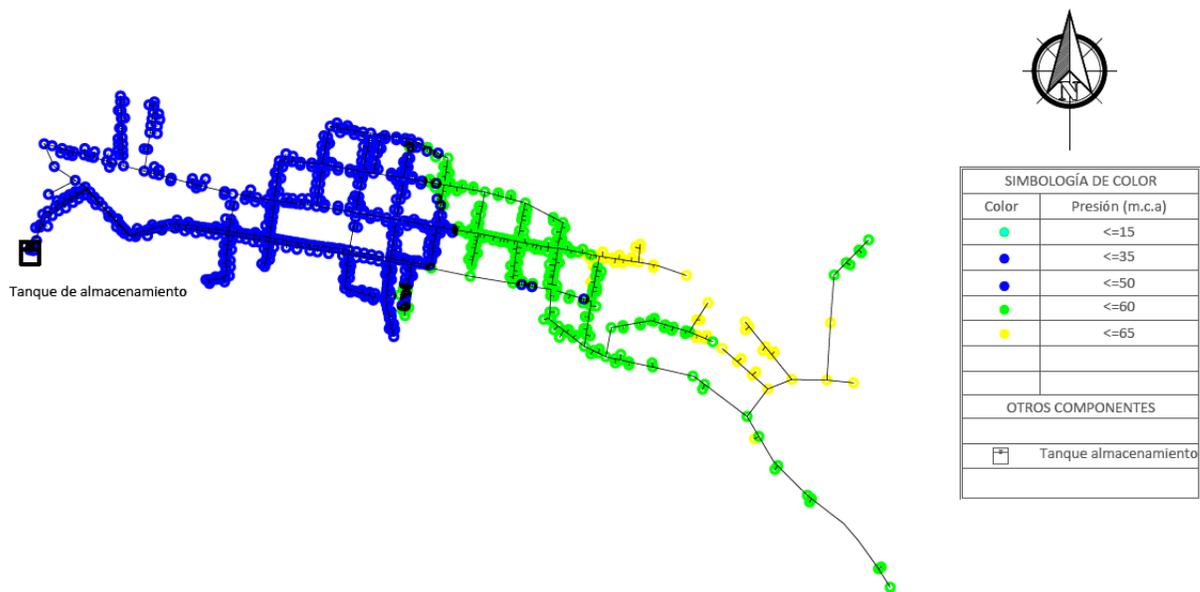


Figura 26. Presiones obtenidas con la propuesta 2.

Como se observa en las Figura anterior, la presión se mantiene por encima de los 50 m.c.a para terreno plano propuesto por el AyA, sin embargo, al poseer un SDR 26, no hay riesgo de ruptura, ya que la presión de trabajo es elevada con respecto al valor obtenido.

En este caso se reducen los rangos de presión, obteniendo los valores máximos y mínimos que se muestran en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Presiones obtenidas con la propuesta de mejora 2.

Presión	Valor (m.c.a)	SDR	Valor de trabajo según SDR (m.c.a)
Presión mínima	18	26	112
Presión máxima	61	26	112

Al igual que los casos anteriores, las velocidades de la red son inferiores a la recomendación técnica, las cuales no cumplen con la norma del AyA. En la Figura 27 se muestra el comportamiento de las velocidades en la red de distribución.

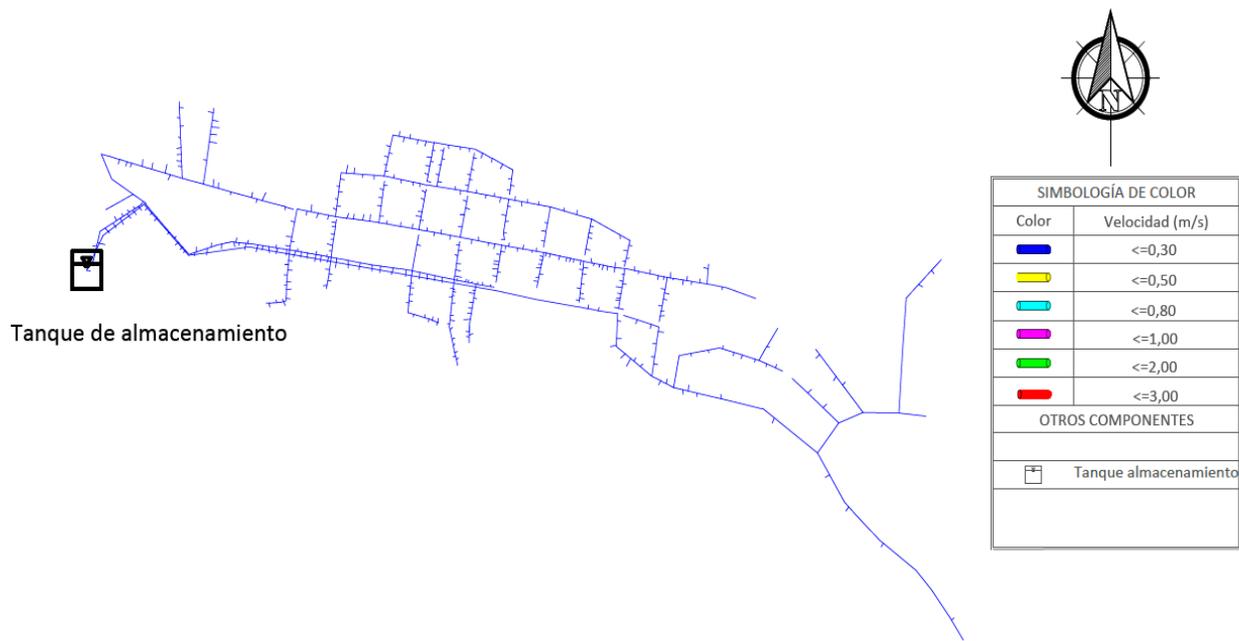


Figura 27. Velocidades obtenidas con la propuesta de mejora 2.

6.8 Análisis social y ambiental del proyecto

6.8.1 Análisis económico

Para el análisis económico del proyecto se realizó una lista de materiales a utilizar para mejorar el funcionamiento del sistema, con el costo total y el número de unidades.

Para la primera propuesta de mejora establecida, se realizó el estudio económico, contemplando la incorporación de las válvulas reguladoras de presión.

Como lo muestra el Cuadro 15, la incorporación de dichas válvulas al sistema trae consigo un costo elevado que, representa una inversión adecuada, ya que como se observó con el resultado de la modelación, el sistema no se encuentra adecuado a las necesidades y requerimientos de la legislación y normativa del país.

Cuadro 15. Costo de las válvulas incorporadas al sistema con la propuesta 1.

Material	Costo unitario	Cantidad	Costo total
Válvula reguladora presión 100 mm (4")	¢391,520	1	¢391,520
Válvula reguladora presión 75 mm (3")	¢225,750	1	¢225,75
		Total	¢617,270

Para la propuesta 2 se desarrolla el costeo de materiales a utilizar para llevar a cabo el cambio de tubería a los diámetros recomendados. Dicha información se muestra en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Materiales por utilizar para la propuesta de diseño 1.

Lista de Materiales	Cantidad	Costo Total ¢
Tubería de 3" (75 mm) SDR 32,5	907	33,018428
Tubería de 4" (100 mm) SDR 32,5	850	50,871650
Válvula de compuerta en hierro 3" (75 mm)	10	450,870
Válvula de bola 3" en PVC (75 mm)	3	30,000
Reducción de 4" (100 mm) a 3" (75 mm)	13	241,800
Tee de 3" (75 mm) en PVC	8	48,800
Uniones lisas de 3" (75 mm)	6	21,000
	Total	¢ 84,682548

La diferencia entre una propuesta y la otra es bastante alta, debido a la cantidad de tubos a cambiar para la segunda propuesta.

A continuación, se presenta un estimado de los egresos por parte de la ASADA, ya que no se tuvo acceso a la información precisa. La información se muestra en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Egresos mensuales de la ASADA.

Gasto	Total
Fontaneros (2)	¢576,000
Secretaria	¢358,762
Luz	¢22,000
Teléfono	¢32,000
Internet	¢30,000
Seguro	¢350,000
Compra equipo	¢40,000
Combustible	¢30,000
Cloración	¢41,950
Total	¢1.480,712

Con respecto a la cantidad de metros cúbicos consumidos al mes, según el registro de lecturas y la tarifa base propuesta por la ASADA, se obtienen los ingresos, la información se muestra en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Ingresos por consumo de agua.

Total de usuarios	836,00
Metros cúbicos consumidos	18,423
Promedio consumido por el usuario (m3)	22,03
Tarifa base	₡1,830
Colones por metro cúbico consumido	₡90,00
Total	₡3,187950

Con los datos anteriores se calculó el VAN y TIR, para determinar la rentabilidad económica de ambas. La información del balance económico para cada propuesta se muestra en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Balance económico para las propuestas de mejora.

Aspecto	Propuesta I	Propuesta II
Inversión inicial	₡617,270	₡ 84,682548
Flujo de caja para 10 años	₡20,486856	₡20,486856
VAN	₡102,201520	₡18,136242
TIR	3318.95%	20.42%

. La propuesta I refleja una recuperación inmediata de la inversión inicial, mientras que para la segunda propuesta el TIR es de 20,42%.

6.8.2 Análisis social

Con respecto al análisis social se realizó una encuesta para conocer la opinión de los usuarios a través de una encuesta que se fundamentó en la calidad del servicio que se brinda en la

comunidad de Tucurrique Centro, considerando también comentarios y observaciones tomadas en la realización del proyecto. Se entrevistó a un grupo de personas de la comunidad, mostrando diferentes opiniones en las 10 preguntas realizadas.

La primera pregunta fue conocer la opinión de los usuarios con respecto la calidad del servicio de abastecimiento de agua que se brinda en la comunidad con lo cual las personas consideraron en su mayoría que el servicio es muy bueno o bueno, solo considerado como regular por un 9,2 % de los encuestados.

¿ Cómo considera usted el servicio de abastecimiento de agua que se brinda en la comunidad?
33 respuestas

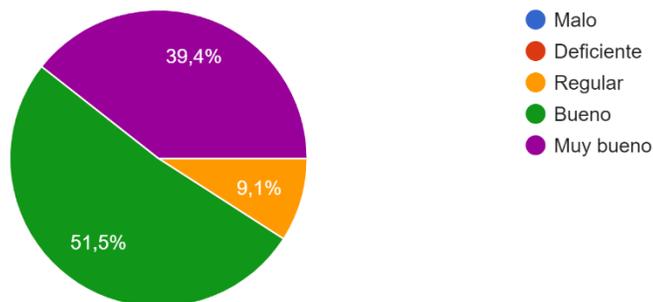


Figura 28. Opinión acerca del servicio de abastecimiento de agua potable.

Seguidamente se conoció el punto de vista de los usuarios acerca del servicio de mantenimiento que se da a la red, obteniendo que el 22,6% lo considera muy bueno y un 45,2% bueno, mientras que el 32,3% lo considera regular.

¿ Cómo considera el servicio de mantenimiento que se da a la red del acueducto?

33 respuestas

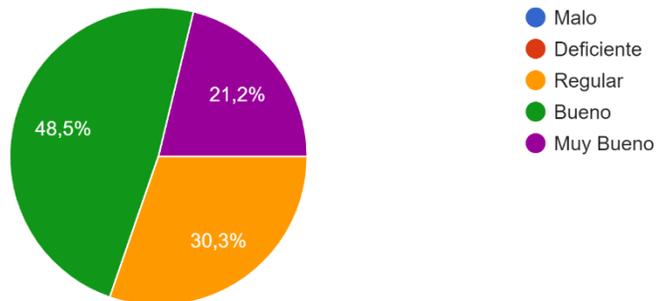


Figura 29. Criterio acerca del servicio de mantenimiento dado al acueducto

También se quiso conocer la opinión de los usuarios acerca de la tarifa que se cobra por el servicio, con la cual el 78,1% está de acuerdo con la tarifa mientras que el 21,9% indicó no estar de acuerdo.

¿Está usted de acuerdo con la tarifa del servicio que se cobra actualmente?

33 respuestas

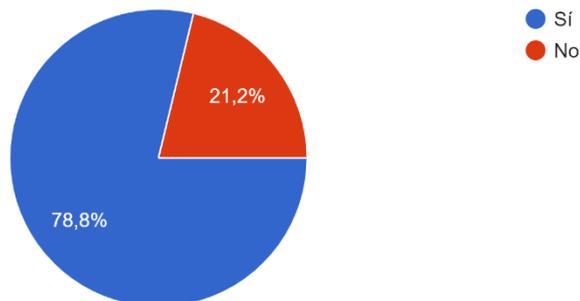


Figura 30. Satisfacción acerca de la tarifa cobrada por el servicio.

Además, se preguntó a los usuarios si tienen conocimiento acerca de algún problema que exista en la red del acueducto, para lo cual las respuestas fueron mayormente de desconocimiento sobre alguna situación de problemática, un 87% indica que desconoce alguna situación y un 13% menciona conocer problemas como fugas por el estado de las tuberías debido a los años de uso.

¿ Conoce algún problema que se presente en el sistema de abastecimiento de agua potable?

33 respuestas

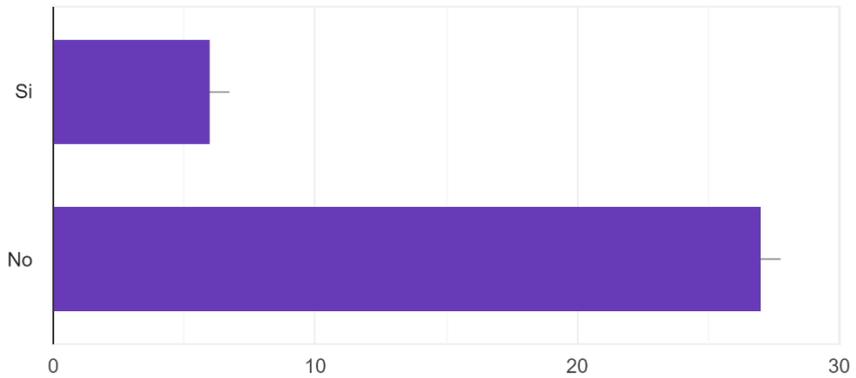


Figura 31. Conocimiento acerca de algún problema en la red de abastecimiento.

También se aprovechó para conocer cómo se consideraba la cantidad de agua y la presión que llega a sus casas, a lo cual el 28,1% indicó que las condiciones son muy buenas, el 53,1% dijo que eran buenas y un 18,8% establecieron condiciones regulares.

¿ Como considera usted la cantidad de agua y la presión con la que el agua llega a su casa

33 respuestas

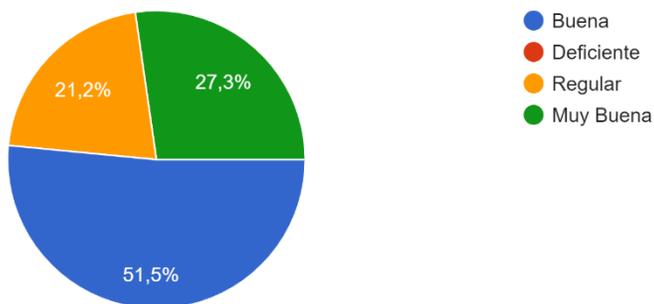


Figura 32. satisfacción acerca de la cantidad de agua y presión entregada.

Con respecto a la continuidad del servicio se consultó cuantas veces ha faltado el agua por mes en las viviendas, obteniéndose que el 65,6% de los usuarios indicaron que el servicio no ha

fallado, mientras que el restante 34,4% indicó que el servicio ha fallado de una a más de dos veces mensualmente.

Cuántas veces le ha faltado el agua en su casa, en el último mes

33 respuestas

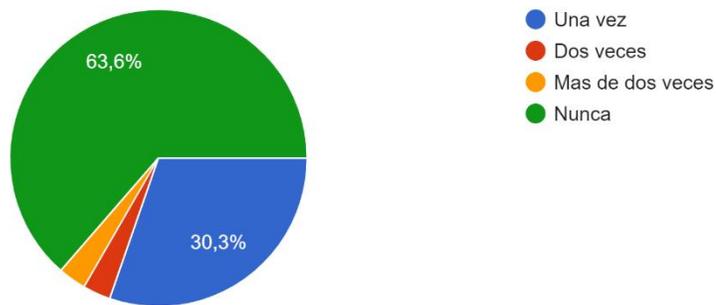


Figura 33. Opinión acerca de la interrupción del servicio en el último mes

Se preguntó a los encuestados, acerca de tener conocimiento del lugar en donde se encuentran las nacientes que abastecen el acueducto, de los cuales el 62,5% si conoce o ha escuchado en donde se encuentran las nacientes y el 37,5% no tiene idea de donde proviene el agua que se consume en dicho sector.

¿Conoce usted el lugar en donde se encuentran las nacientes que abastecen el acueducto?

33 respuestas

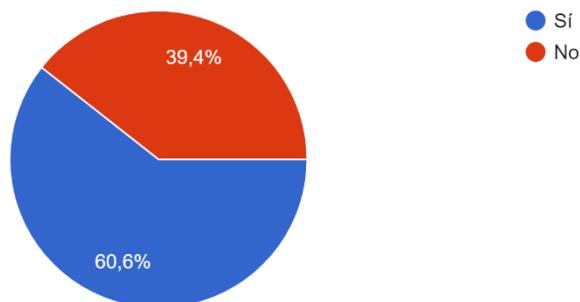


Figura 34. Conocimiento acerca de la ubicación de las nacientes.

Además, se consultó si tenían una idea de la cantidad de litros de agua que consumen por día en su casa, mostrando algunos rangos de consumo, de los cuales los más contestados fue entre 0 y 100 litros

¿Tiene alguna idea de la cantidad de litros de agua que consume al mes aproximadamente
33 respuestas

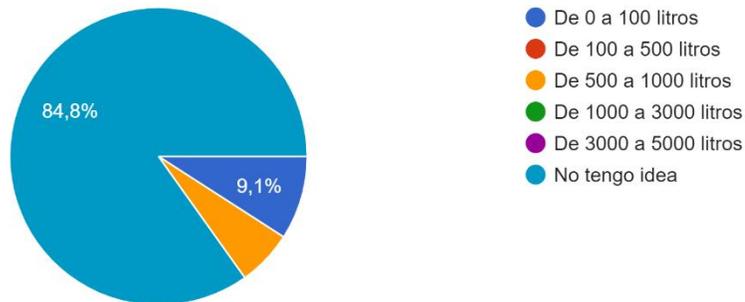


Figura 35. Conocimiento acerca de la cantidad de agua consumida.

Con respecto al sistema de cloración y las características de este se realizaron dos preguntas para evaluar la opinión de los usuarios; la primera pregunta fue acerca de cómo calificaban el funcionamiento del sistema de cloración, obteniéndose un 9,4% que lo catalogan como muy bueno, 56,3% con opinión de bueno, 31,3% opina que es un servicio regular y el restante 3,1% lo consideran malo.

¿Como califica el funcionamiento del sistema de cloración utilizado?
33 respuestas

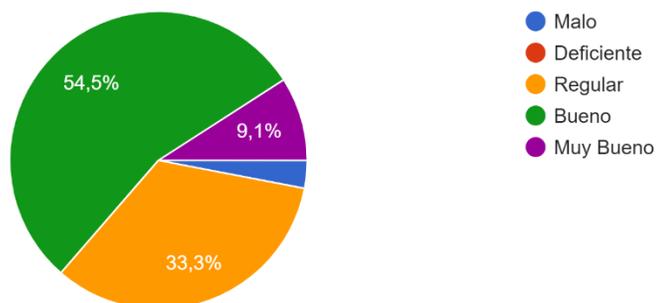


Figura 36. Opinión acerca del sistema de cloración utilizado.

Finalmente se consultó acerca de que, si ha tenido algún problema con respecto a la calidad del agua en cuanto a temas de olor y sabor, de las opiniones obtenidas un 59,4% indicó que no ha presentado ningún problema, mientras que el restante 40,6 % indica problemas mayormente en el sabor a cloro que se presenta en ciertos tiempos.

Ha tenido algún problema con respecto a la calidad del agua? color o sabor extraño ?

33 respuestas



Figura 37 Problemas con respecto a la calidad del agua.

6.8.3 Análisis Ambiental

El estudio de impacto ambiental se realiza, para la situación en donde se requiera realizar un cambio de tubería y la instalación de válvulas reguladoras de presión, como el establecido en la propuesta de mejora. Dichas acciones no generan un impacto ambiental relevante, siempre y cuando sean realizadas de una manera adecuada y responsable.

Se realizó el análisis D-1 propuesto por SETENA para obtener la SIA (Significancia de Impacto Ambiental), se obtuvo una calificación de 120 lo cual indica que no se debe realizar un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), se debe agregar una declaración de compromiso ambiental, los parámetros obtenidos se muestran a continuación en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Valoración D-1 para la realización del proyecto.

Aspecto	Valor obtenido
Consumo/afectación	20
Impacto en aire	29
Impacto en suelo	31
Impacto humano	24
Otros riesgos	16
Total	120

Dado que el total obtenido de los impactos mencionados anteriormente es menor a 300, la clasificación obtenida según SETENA es B₂ por lo que se debe de realizar solamente una declaración jurada de compromiso ambiental. Las mejoras establecidas requieren labores de movimiento de suelo solo en la instalación de válvulas y tuberías.

7 CONCLUSIONES

Se analizó la red de distribución, considerando los parámetros de presión y velocidad en período extendido para conocer las condiciones en las que trabaja el sistema en sus momentos de máximo consumo. Mediante el análisis hidráulico realizado, se determinó que, existen tramos con presiones superiores a las permitidas por el AyA en la norma técnica de diseño (rango permitido 15,00 m.c.a -70,00 m.c.a, y mayormente en conducción se presentan presiones inferiores a 15,00 m.c.a. Las velocidades obtenidas en toda la red están por debajo de la velocidad recomendada en la norma técnica, en promedio se obtienen velocidades que rondan los 0,3 m/s.

La modelación realizada permitió conocer la situación actual de acueducto y, por ende, establecer como mejora la incorporación de dos válvulas reguladoras de presión en tramos de la red de distribución y así regular las altas presiones obtenidas cumpliendo lo establecido por el AyA.

Como segunda propuesta, se llevó a cabo la modelación con los diámetros recomendados por el AyA, los cuales, presentan presiones por encima de lo establecido, específicamente en 10 m.c.a de más.

La inversión para la primera propuesta, que incluye la instalación de 2 válvulas reguladoras de presión es de \$617,270. La segunda propuesta que considera la modificación de los diámetros para cumplir con la norma del AyA ronda los \$84,682548. Ambas propuestas son rentables ya que se tienen ingresos mensuales fijo que ayudan a contrarrestar la inversión inicial de las propuestas. Aunque las dos propuestas solucionan el problema la mejor es la de menor inversión, debido al valor económico que representa

Se utilizó la matriz D1 del SETENA para hacer un análisis ambiental preliminar del proyecto, obteniéndose una nota de 120 puntos., por lo que se debe realizar una declaración jurada.

Se concluyó en el estudio social que, existe una aceptación de la población entrevistada con respecto a la administración de la ASADA y sus servicios brindados, considerando el tema de la cloración como uno de los temas que más problemas presenta. A pesar de la conformidad de

las personas, existe un desconocimiento generalizado en el tema de problemáticas, ubicación de nacientes, cantidad de agua consumida y demás temas evidenciados en la encuesta realizada.

8 RECOMENDACIONES

Establecer un programa de aforos, que permita realizar análisis robustos de la oferta hídrica, actual y futura, con el fin de identificar de manera más concreta los momentos críticos y máximos de producción de agua, para realizar balances hídricos en el caso de un aumento de población, esto para determinar si el acueducto tiene la capacidad hidráulica para abastecer toda la comunidad.

Es recomendable mantener actualizado el catastro de la red y de usuarios cada vez que se realicen cambios a nivel de tubería o de algún otro elemento, esto para poder tener mejor visualización de la red y no especular acerca de diámetros utilizados y distribución de estos.

El riesgo de sedimentación es bastante alto, por lo que se recomienda la instalación de válvulas de lavado en puntos bajos de la red, junto con un programa de inspecciones y mantenimiento preventivo, para evitar aspectos como malos olores o suciedad en el agua.

Es importante valorar la posibilidad de variar el SDR de 26 a 32,5, ya que esto generaría un ahorro importante al momento de realizar reparaciones en las tuberías. En la sección de Anexos se muestra la Figura correspondiente a las presiones respectivas de trabajo según el SDR.

Implementar la colocación de macro medidores en los principales ramales de distribución o en la salida del tanque, esto para poder llevar un registro del volumen de agua consumido por la población y compararlo con el facturado por mes para determinar cuanta es la cantidad de agua que se pierde y no se factura (Agua No Contabilizada).

9 BIBLIOGRAFÍA

- Alcocer, V., & Tzatchkov, V. (2007). *Modelación Hidráulica y de calidad del agua en redes de agua potable*. México DF: Comisión Nacional Del Agua.
- Amanco. (2013). *Manual Técnico de Tubosistemas*. Costa Rica: Mexichen de Costa Rica.
- Araya, J. (2012). *Modelacion del cloro residual en la red de distribución de distribución del acueducto la Sirena*. Cali, Colombia: Universidad Del Valle.
- AyA. (2017). *Norma Técnica para el diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento pluvial*. Costa Rica: La Gaceta.
- Basán, M. (2010). *Curso de Aforadores de Corrientes de Agua*. Argentina: Gobierno de Argentina.
- Bejarano, E. (2013). *Diagnóstico del acueducto de Santa Cruz y propuesta de mejora*. Costa Rica: Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.
- Bomberos de Costa Rica;. (2013). *Manual de disposiciones Técnicas y Protección contra Incendios*. Costa Rica.
- Briére, F. (2005). *Distribución de agua potable, y colecta de desagües y agua de lluvia*. Canadá.
- Cascante, M., Rodríguez, J., & Sanabria, J. (2016). *Evaluación y rediseño del acueducto las Huertas*. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.
- CONAGUA. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Sistemas de conducción de agua: producción, operación y consumo*. México DF: Comisión Nacional del Agua.
- Conagua. (s,f). *Modelación Hidráulica y de Calidad del Agua en Redes de Distribución*. México DF: Secretaría de medio ambiente y recursos naturales.
- Corcho, F., & Duque, J. (2005). *Acueductos, Teoría y Diseño*. Medellín: Universidad de Medellín.
- Gómez, A. L. (2014). *Estudio del efecto del almacenamiento sobre la calidad de agua en un tanque de distribución*. Cartago, Costa Rica: Tecnológico De Costa Rica.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2011). *Manual de Micromedición. Mejores comités, mejores comunidades*. México.

- Jacobsen, B., & Padilla, R. (1987). *Contabilidad de Costos un enfoque del sentido administrativo para la toma de decisiones*. México: Mc Graw-Hill.
- Jiménez, j. (2012). Costa Rica da acceso agua pero falla en el mantenimiento. *CRHoy*.
- Lahlou, Z. (2009). *Detección de Fugas y Control de Péridas* . Lynchburg: National Environmental Services Center.
- López, R. (1995). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Colombia.: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- López, R. (2005). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- M, M. C. (2005).
- Marín, E. (2015). *Programa de renovacion de la infraestructura de transporte, almacenamiento y distribución de la ASADA Tucurrique*. Cartago, Costa Rica: Geolatina.
- Mejía, M. (2005). *Analisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca el Limón, San Jeronimo, Honduras*. Honduras: CATIE.
- Mete, M. R. (2014). VALOR ACTUAL NETO Y TASA DE RETORNO: SU UTILIDAD COMO HERRAMIENTAA PARA ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN. *Instituto de Investigacion en Ciencias Económicas y Financieras*, 67-85.
- Montoya, C. (2012). *Efecto del almacenamiento sobre la calidad del agua potable; evaluación experimental y simulación numérica del tanque Ciudad jardín*. Universidad Del Valle.
- Mora Alvarado, D., Orozco Gutiérrez, J., Rivera Navarro, P., Solís Navarro, Y., Zúñiga Zúñiga, L., Cambronero Bolaños, D., & Urbina Campos, A. (2018). *Indice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano en Costa Rica*. San José, Costa Rica: AyA.
- Mora, R. (2017). *Evaluación del sistema principal de conducción, almacenamiento y distribución, en el Acueducto Rural de Agua Blanca de Acosta, San José*. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.

- Nieto, J. (2009). *Manipulación y ensamblaje de tuberías* . . Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Orellana, J. (s,f). *Abastecimiento de agua potable. Ingeniería Sanitaria*. UTN.
- Ortega, D. (2012). *Hidrometría Básica: Aplicada a la Operación de Distritos y Unidades de Riego*. México: IANL.
- Pereltman, L., Ostfeld, A., & Sautner, J. (2008). *Using Aggregation/Skeletonization Network Models for Water Quality Simulations in Epidemiologic Studies*.
- Pérez, A. (2016). *Evaluación de la capacidad hidráulica de la red de distribución del acueducto de San Francisco de León Cortés*. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.
- Pérez, L., & Pérez, S. (2005). *Acueductos a presión. Nociones basicas de diseño*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Quesada Avendaño, G. (2011). *Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental*. Obtenido de UNED: <https://www.uned.ac.cr/sindicato/notas/913-guia-para-la-evaluacion-de-impacto-ambiental>
- Quesada, G. (2011). *Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental* . Costa Rica: Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental.
- Ramírez, C. (2016). *Guía Técnica Acueducto y Alcantarillado* . Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Ripoll, M. (2004). *Propuesta de un modelo de evaluación económica de proyectos educativos*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Torres, J. (2008). *Material Didáctico para Asignaturas de Acueductos y Alcantarillados*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Valverde, R. (2013). *El Agua en Costa Rica*. Costa Rica: Escuela de Ciencias Ambientales, UNA.
- Walski, T. (2001). *Advanced Water Distribution Modeling and Management*. Estados Unidos: Bentley Institute Press.

10 ANEXOS

Anexo 1. Cálculo del consumo promedio horario CPH y el factor de consumo

Hora	Hora	Nivel del tanque (m)	Volumen (m3)	Dif (m3)	Q neto (l/s)	Caudal de entrada (l/s)	Rebalse del Tanque (l/s)	CPH (l/s)	Factor
1	12:00:00 a. m.	1.829	306.95	-0.487	-0.135	10	7	3.135	0.31
2	01:00:00 a. m.	1.832	307.53	0.587	0.163	10	7	2.837	0.28
3	02:00:00 a. m.	1.825	306.33	-1.209	-0.336	10	7	3.336	0.33
4	03:00:00 a. m.	1.824	306.23	-0.101	-0.028	10	7	3.028	0.30
5	04:00:00 a. m.	1.828	306.81	0.587	0.163	10	7	2.837	0.28
6	05:00:00 a. m.	1.828	306.85	0.034	0.009	10	5.4	4.591	0.46
7	06:00:00 a. m.	1.832	307.50	0.655	0.182	10	4.2	5.618	0.56
8	07:00:00 a. m.	1.825	306.39	-1.108	-0.308	10	3.7	6.608	0.66
9	08:00:00 a. m.	1.826	306.46	0.067	0.019	10	2	7.981	0.80
10	09:00:00 a. m.	1.829	307.05	0.587	0.163	10	0.69	9.147	0.91
11	10:00:00 a. m.	1.823	305.91	-1.141	-0.317	10	0.69	9.627	0.96
12	11:00:00 a. m.	1.729	290.27	-15.635	-4.343	10	0.00	14.343	1.43
13	12:00:00 p. m.	1.590	266.83	-23.440	-6.511	10	0.00	16.511	1.65
14	01:00:00 p. m.	1.564	262.47	-4.364	-1.212	10	0.00	11.212	1.12
15	02:00:00 p. m.	1.574	264.21	1.746	0.485	10	0.00	9.515	0.95
16	03:00:00 p. m.	1.577	264.73	0.520	0.145	10	0.00	9.855	0.99
17	04:00:00 p. m.	1.580	265.27	0.537	0.149	10	0.00	9.851	0.99
18	05:00:00 p. m.	1.602	268.90	3.626	1.007	10	0.00	8.993	0.90
19	06:00:00 p. m.	1.624	272.55	3.659	1.016	10	0.00	8.984	0.90
20	07:00:00 p. m.	1.602	268.90	-3.659	-1.016	10	0.00	11.016	1.10
21	08:00:00 p. m.	1.716	288.05	19.152	5.320	10	0.00	4.680	0.47
22	09:00:00 p. m.	1.790	300.42	12.371	3.436	10	0.00	6.564	0.66
23	10:00:00 p. m.	1.819	305.29	4.868	1.352	10	7	1.648	0.16
24	11:00:00 p. m.	1.826	306.46	1.175	0.326	10	7	2.674	0.27

Anexo 2.Especificaciones técnicas tubería de PVC

Diámetro Nominal		SDR	Presión de trabajo Kg/cm ²	Longitud tubo (m)	Dia. Exterior	Dia. Interior	Presión de ruptura Kg/cm ²
(mm)	Pulg.				(mm)	(mm)	
12	½	13,5	22,1	6	21,34	18,2	70,2
12	½	Sch40	42	6	21,34	15,8	
18	¾	17	17,6	6	26,67	23,53	56,2
18	¾	Sch40	34	6	26,7	20,9	
25	1	17	17,6	6	33,4	29,48	56,2
25	1	Sch40	32	6	33,4	26,6	
31	1 1/4	17	17,6	6	42,16	37,18	56,2
38	1 1/2	17	17,6	6	48,26	42,58	56,2
50	2	17	17,6	6	60,33	53,21	56,2
62	2 1/2	17	17,6	6	73,03	54,45	56,2
75	3	17	17,6	6	88,9	78,44	56,2
100	4	17	17,6	6	114,3	100,84	56,2
150	6	17	17,6	6	168,28	148,46	56,2
200	8	17	17,6	6	219,08	193,28	56,2
25	1	26	11,2	6	33,4	30,36	35,1
31	1 1/4	26	11,2	6	42,16	38,9	35,1
38	1 1/2	26	11,2	6	48,26	44,56	35,1
50	2	26	11,2	6	60,33	55,71	35,1
62	2 1/2	26	11,2	6	73,03	67,45	35,1
75	3	26	11,2	6	88,90	82,04	35,1
100	4	26	11,2	6	114,30	105,52	35,1

Diámetro Nominal		SDR	Presión de trabajo Kg/cm ²	Lon. tubo (m)	Diam. Exterior	Dia. Interior	Presión de ruptura Kg/cm ²
mm	pulg						
150	6	26	11,2	6	168,28	155,32	35,1
200	8	26	11,2	6	219,08	202,22	35,1
250	10	26	11,2	6	273,05	252,07	35,1
300	12	26	11,2	6	323,85	298,95	35,1
31	11/4	32,5	8,8	6	42,2	39,0	28,1
38	11/2	32,5	8,8	6	48,26	45,22	28,1
50	2	32,5	8,8	6	60,33	56,63	28,1
62	2 1/2	32,5	8,8	6	73,03	68,55	28,1
75	3	32,5	8,8	6	88,90	83,42	28,1
100	4	32,5	8,8	6	114,30	107,28	28,1
150	6	32,5	8,8	6	168,28	157,92	28,1
200	8	32,5	8,8	6	219,08	205,62	28,1
250	10	32,5	8,8	6	273,05	256,23	28,1
300	12	32,5	8,8	6	323,85	303,93	28,1
31	11/4	41	7,0	6	42,16	39,80	22,1
38	11/2	41	7,0	6	48,26	45,90	22,1
50	2	41	7,0	6	60,32	57,38	22,1
62	2 1/2	41	7,0	6	73,03	69,46	22,1
75	3	41	7,0	6	88,90	84,58	22,1
100	4	41	7,0	6	144,30	108,72	22,1
150	6	41	7,0	6	168,28	160,08	22,1

Diámetro Nominal pulg	mm	SDR	Presión de trabajo Kg/cm ²	Longitud tubo (m)	Diam. Exterior	Diam. Interior	Presión de ruptura Kg/cm ²
200	8	41	7,0	6	219,08	208,42	22,1
250	10	41	7,0	6	273,05	259,75	22,1
300	12	41	7,0	6	323,85	308,05	22,1
380	15	41	7,0	6	388,60	369,70	22,1

Anexo 3. Elevación de los nodos de la red de distribución.

Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)
1	804	455	763,37	941	1.295,00
2	767,76	456	763,24	942	1.294,00
3	777,14	457	763,87	943	1.291,00
4	764,2	458	763,06	944	1.290,00
5	769,14	459	763,53	945	1.287,00
6	779,41	460	760,19	946	1.284,00
7	778,31	461	759,74	947	1.285,00
8	776,26	462	761,09	948	1.282,00
9	774,52	463	763,66	949	1.280,00
10	769,31	464	765,29	950	1.279,00
11	763,85	465	765,90	951	1.275,00
12	749	466	764,98	952	1.274,00
13	762,38	467	766,06	953	1.272,00
14	753,94	468	766,77	954	1.270,00
15	755	469	766,45	955	1.270,00
16	784,09	470	766,02	956	1.269,00
17	783,19	471	765,55	957	1.267,00
18	758,6	472	765,37	958	1.264,00
19	766,86	473	770,64	959	1.262,00
20	770,78	474	770,47	960	1.261,00

Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)
21	775,02	475	770,35	961	1.259,00
22	775,08	476	775,02	962	1.257,00
23	779,8	477	775,02	963	1.256,00
24	781,1	478	775,01	964	1.254,00
25	782,18	479	775,01	965	1.254,00
26	804,19	480	775,00	966	1.252,00
27	802,62	481	775,82	967	1.251,00
28	801,55	482	777,80	968	1.248,00
29	797,84	483	779,08	969	1.247,00
30	792,65	484	779,63	970	1.247,00
31	793,81	485	779,41	971	1.248,00
32	795,77	486	779,16	972	1.250,00
33	786,05	487	778,82	973	1.253,00
34	787,32	488	778,54	974	1.253,00
35	786,85	489	778,28	975	1.254,00
36	788,37	490	777,50	976	1.254,00
37	788,72	491	778,12	977	1.256,00
38	789,11	492	779,23	978	1.257,00
39	789,44	493	779,96	979	1.259,00
40	789,79	494	780,68	980	1.260,00
41	782,88	495	781,42	981	1.261,00
42	782,8	496	775,65	982	1.261,00
43	783,29	497	777,18	983	1.257,00
44	784,19	498	781,34	984	1.255,00
45	784,96	499	770,89	985	1.254,00
46	787,49	500	772,45	986	1.249,00
47	788,6	501	773,14	987	1.247,00
48	788,5	502	774,16	988	1.243,00
49	788,41	503	774,17	989	1.240,00
50	786,22	504	773,93	990	1.238,00
51	786,71	505	772,96	991	1.235,00
52	785,01	506	772,43	992	1.235,00
53	784,76	507	771,61	993	1.235,00
26	804,19	508	765,26	994	1.233,00
27	802,62	509	767,49	995	1.231,00
28	801,55	510	768,43	996	1.230,00
29	797,84	511	769,79	997	1.226,00
30	792,65	512	771,99	998	1.224,00

Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)
31	793,81	513	772,77	999	1.222,00
32	795,77	514	773,73	1000	1.221,00
33	786,05	515	774,94	1001	1.220,00
34	787,32	516	779,08	1002	1.219,00
35	786,85	517	777,99	1003	1.218,00
36	788,37	518	777,32	1004	1.217,00
37	788,72	519	776,77	1005	1.215,00
38	789,11	520	778,42	1006	1.212,00
39	789,44	521	778,98	1007	1.208,00
40	789,79	522	779,83	1008	1.205,00
41	782,88	523	780,13	1009	1.202,00
42	782,8	524	780,36	1010	1.198,00
43	783,29	525	779,75	1011	1.197,00
44	784,19	526	780,15	1012	1.195,00
45	784,96	527	780,86	1013	1.193,00
46	787,49	528	781,56	1014	1.190,00
47	788,6	529	782,43	1015	1.187,00
44	784,19	530	780,24	1016	1.183,00
45	784,96	531	780,46	1017	1.182,00
46	787,49	532	780,62	1018	1.179,00
47	788,6	533	780,80	1019	1.175,00
48	788,5	534	781,33	1020	1.172,00
49	788,41	535	781,92	1021	1.172,00
50	786,22	536	782,61	1022	1.168,00
51	786,71	537	782,79	1023	1.164,00
52	785,01	538	782,62	1024	1.164,00
53	784,76	539	782,53	1025	1.163,00
54	811,26	540	782,41	1026	1.162,00
55	805	541	782,33	1027	1.160,00
56	797	542	782,28	1028	1.158,00
57	799	543	777,70	1029	1.158,00
58	800,22	544	778,55	1030	1.156,00
59	799	545	779,17	1031	1.153,00
60	801,5	546	780,02	1032	1.153,00
61	801	547	780,81	1033	1.150,00
62	802,46	548	781,17	1034	1.147,00
63	802	549	782,31	1035	1.144,00
64	803,41	550	782,77	1036	1.143,00

Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)
65	803	551	783,10	1037	1.140,00
66	802,38	552	783,28	1038	1.140,00
67	800,26	553	782,38	1039	1.137,00
68	790	554	782,63	1040	1.132,00
69	790	555	783,19	1041	1.131,00
70	784	556	783,51	1042	1.128,00
71	782	557	783,95	1043	1.126,00
72	783	558	784,30	1044	1.124,00
73	781	559	785,63	1045	1.122,00
74	780	560	785,17	1046	1.120,00
75	775	561	784,43	1047	1.113,00
76	770	562	785,37	1048	1.113,00
77	765	563	782,29	1049	1.112,00
78	765	564	782,77	1050	1.111,00
79	755	565	784,22	1051	1.111,00
80	745	566	784,32	1052	1.110,00
81	793	567	784,43	1053	1.110,00
82	790	568	784,63	1054	1.109,00
83	785,81	569	785,01	1055	1.108,00
84	784	570	785,18	1056	1.108,00
85	782	571	785,44	1057	1.108,00
86	778	572	785,37	1058	1.107,00
87	775	573	785,58	1059	1.107,00
88	771	574	783,69	1060	1.106,00
89	767	575	784,22	1061	1.106,00
90	763	576	785,54	1062	1.106,00
91	759	577	786,11	1063	1.104,00
92	771	578	784,94	1064	1.105,00
93	749	579	784,00	1065	1.105,00
94	766	580	776,26	1066	1.105,00
95	770	581	777,29	1067	1.104,00
96	768	582	779,20	1068	1.104,00
97	764	583	779,64	1069	1.104,00
98	767	584	778,44	1070	1.102,00
99	774	585	778,72	1071	1.102,00
100	753	586	779,22	1072	1.104,00
101	753	587	779,80	1073	1.104,00
102	757	588	780,93	1074	1.104,00

Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)
103	759	589	781,37	1075	1.103,00
104	763	590	782,64	1076	1.103,00
105	764	591	784,56	1077	1.103,00
106	754	592	788,52	1078	1.103,00
107	755	593	787,21	1079	1.102,00
108	757	594	786,25	1080	1.100,00
109	761	595	799,00	1081	1.101,00
110	748	596	796,38	1082	1.099,00
111	747	597	794,23	1083	1.100,00
112	801	598	790,78	1084	1.100,00
113	789	599	787,93	1085	1.099,00
114	787	600	787,52	1086	1.099,00
115	782	601	787,94	1087	1.100,00
116	790	602	788,54	1088	1.097,00
117	780	603	788,95	1089	1.097,00
118	777	604	790,35	1090	1.096,00
119	779	605	790,79	1091	1.094,00
120	767	606	790,95	1092	1.088,00
121	778	607	791,52	1093	1.080,00
122	768	608	792,06	1094	1.038,00
123	763	609	792,33	1095	1.024,00
124	776	610	795,21	1096	1.024,00
125	771	611	797,95	1097	1.112,35
126	760	612	799,86	1098	767
127	763	613	801,87	1099	767,08
128	757	614	803,07	1100	767,15
129	786	615	803,62	1101	800,8
130	782	616	802,68	1102	797,19
131	812	617	801,70	1103	796
132	808	618	801,99	1104	794,55
133	805	619	801,02	1105	794,11
134	808	620	800,51	1106	793
135	807	621	799,89	1107	792,81
136	804	622	799,21	1108	791,95
137	797	623	797,87	1109	791,75
138	818	624	805,32	1110	791,18
139	795,8	625	807,08	1111	790,6
140	790,51	626	801,62	1112	790,5

Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)
141	788,79	627	804,50	1113	789,75
142	771,39	628	803,19	1114	790
143	798,68	629	801,65	1115	787,2
144	796,11	630	800,70	1116	787
145	793,51	631	798,44	1117	786,1
146	790,44	632	797,29	1118	789,23
147	787,56	633	796,44	1119	792,2
148	786,06	634	793,59	1120	795,19
149	785,24	635	792,68	1121	800
150	785,67	636	787,45	1122	786,7
151	784,67	637	785,53	1123	771,45
152	783,4	638	784,73	1124	800
153	782,3	639	783,96	1125	785,5
154	782,92	640	783,23	1126	784,78
155	782,44	641	789,36	1127	785,3
156	786,26	642	789,00	1128	784,72
157	785,85	643	788,19	1129	786,78
158	784,87	644	786,79	1130	787,82
159	785,74	645	786,44	1131	784
160	785,33	646	786,12	1132	783,6
161	785,18	647	784,52	1133	782,93
162	782,91	648	767,24	1134	783,9
163	781,78	649	768,10	1135	783
164	780,85	650	768,47	1136	784,67
165	780,08	651	769,37	1137	785,77
166	779,36	652	766,33	1138	786,3
167	777,26	653	767,95	1139	784,5
168	775,69	654	763,11	1140	783,4
169	788,73	655	769,79	1141	778,53
170	786,35	656	769,67	1142	779,11
171	784,39	657	769,47	1143	781,74
172	784,01	658	768,93	1144	786
173	783,59	659	767,17	1145	787,3
174	783,24	660	759,83	1146	788,12
175	782,73	661	758,13	1147	788,8
176	782,47	662	756,85	1148	777,85
177	782,97	663	756,26	1149	776,6
178	783,65	664	755,83	1150	776

Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)
179	784,65	665	755,19	1151	775,3
180	785,12	666	754,67	1152	776,25
181	783,91	667	754,25	1153	776,76
182	781,27	668	751,65	1154	777,96
183	784,04	669	753,68	1155	778,57
184	781,86	670	753,34	1156	781,42
185	780,93	671	750,81	1157	782,7
186	780,57	672	750,15	1158	782,23
187	779,38	673	748,45	1159	775
188	779,7	674	765,06	1160	775
189	778,85	675	766,46	1161	775
190	778,44	676	767,18	1162	776,6
191	776,47	677	763,35	1163	778,54
192	777,61	678	1121,00	1164	774,54
193	779,39	679	1112,00	1165	771,3
194	772,45	680	1099,00	1166	770,17
195	767	681	1099,00	1167	770,26
196	767,1	682	1024,00	1168	769,91
197	765,67	683	1022,00	1169	770,1
198	762,93	684	1014,00	1170	770,54
199	748,49	685	998,00	1171	769,8
200	750,34	686	999,00	1172	769,75
201	751,11	687	976,00	1173	768,2
202	752,51	688	972,00	1174	766,48
203	753,25	689	981,00	1175	765
204	753,49	690	979,00	1176	765,28
205	755,54	691	968,00	1177	766,24
206	756,13	692	963,00	1178	766,82
207	751,3	693	961,00	1179	765,8
208	766,7	694	962,00	1180	765,8
209	767,91	695	953,00	1181	764,14
210	769,17	696	972,00	1182	757,8
211	768,2	697	977,00	1183	755,36
212	769,82	698	959,00	1184	754
213	760,59	699	964,00	1185	756,28
214	758,82	700	973,00	1186	758,16
215	756,22	701	971,00	1187	783,11
216	757,33	702	969,00	1188	783,9

Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)
217	757,07	703	961,00	1189	784,58
218	769,32	704	959,00	1190	784,72
219	771,01	705	933,00	1191	785,79
220	767,33	706	927,00	1192	786,5
221	766,45	707	917,00	1193	786,28
222	763,28	708	907,00	1194	785,79
223	759,3	709	905,00	1195	785,22
224	768,63	710	892,00	1196	784,43
225	767,58	711	892,00	1197	783,37
226	770,88	712	892,00	1198	784,57
227	769,04	713	879,00	1199	784,51
228	766,85	714	874,00	1200	784,38
229	764,95	715	850,00	1201	784,26
230	763,45	716	845,00	1202	784,15
231	761,31	717	831,00	1203	784,09
232	759,89	718	826,00	1204	783,81
233	765,78	719	819,00	1205	783,58
234	764,73	720	818,00	1206	783,37
235	778,12	721	816,00	1207	783,07
236	778,39	722	811,00	1208	782,93
237	778,64	723	807,00	1209	782,49
238	779,45	724	813,00	1210	785,53
239	779,23	725	808,00	1211	785,26
240	779,9	726	807,00	1212	785,29
241	774,78	727	822,00	1213	784,94
242	775,29	728	833,00	1214	784,78
243	774,73	729	814,00	1215	784,89
244	770,87	730	809,00	1216	784,82
245	770,16	731	821,00	1217	784,72
246	771,16	732	816,00	1218	786,82
247	765,72	733	824,00	1219	786,01
248	765,21	734	805,00	1220	787,81
249	765,62	735	808,00	1221	786,44
250	766	736	808,00	1222	786,1
251	766,34	737	797,00	1223	789,23
252	760,47	738	818,00	1224	792,17
253	760,13	739	1338,00	1225	795,19
254	761,6	740	1155,00	1226	797,57

Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)
255	762,31	741	1306,00	1227	800,08
256	762,04	742	1237,00	1228	786,66
257	762,94	743	804,00	1229	771,39
258	756,4	744	1103,00	1230	771,4
259	756,67	745	1104,00	1231	790,5
260	757,76	746	1102,00	1232	790,02
261	757,57	747	767,40	1233	790,6
262	781,75	748	767,00	1234	791,25
263	781,86	749	788,72	1235	791,18
264	781,96	750	789,44	1236	789,73
265	782	751	777,22	1237	789,36
266	782,39	752	789,11	1238	778,61
267	781,68	753	786,05	1239	777,19
268	781,04	754	777,44	1240	776,59
269	780,59	755	789,79	1241	775,01
270	780,71	756	787,32	1242	775,01
271	780,2	757	788,37	1243	775,02
272	780,29	758	765,80	1244	775,02
273	777,59	759	772,43	1245	777,87
274	775,72	760	785,20	1246	777,67
275	773,63	761	765,00	1247	776,94
276	773,15	762	786,85	1248	776,64
277	772,01	763	771,20	1249	776,36
278	770,42	764	771,20	1250	776,1
279	762,66	765	770,00	1251	775,54
280	762,33	766	769,60	1252	775,28
281	760,75	767	765,80	1253	758,16
282	759	768	765,80	1254	756,28
283	756,82	769	782,88	1255	753,1
284	755,27	770	771,40	1256	754,08
285	756,12	771	750,30	1257	755,34
286	752,55	772	784,65	1258	756,25
287	753,39	773	781,40	1259	757,08
288	750,56	774	765,80	1260	757,73
289	752,49	775	756,75	1261	774,54
290	749,03	776	804,30	1262	773,54
291	748,52	777	776,24	1263	771,9
292	750,3	778	796,00	1264	771,35

Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)
293	781,26	779	797,00	1265	769,91
294	780,84	780	809,00	1266	769,78
295	780,13	781	836,00	1267	769,75
296	779,23	782	1379,00	1268	769,86
297	778,66	783	1345,00	1269	768,19
298	777,81	784	1342,00	1270	766,48
299	782,32	785	1338,00	1271	765
300	781,39	786	1336,00	1272	765,8
301	780,72	787	1330,00	1273	765,8
302	779,97	788	1328,00	1274	765,8
303	779,65	789	1312,00	1275	765,8
304	780,29	790	1310,00	1276	765,8
305	780,4	791	1300,00	1277	800,87
306	780,01	792	1289,00	1278	799,04
307	779,12	793	1290,00	1279	797,19
308	778,61	794	1300,00	1280	796,36
309	776,93	795	1310,00	1281	796,04
310	777,03	796	1315,00	1282	794,81
311	778,28	797	1315,00	1283	794,55
312	779,2	798	1313,00	1284	794,36
313	771,14	799	1308,00	1285	794,11
314	772,97	800	1308,00	1286	792,81
315	772,42	801	1304,00	1287	793
316	773,33	802	1304,00	1288	791,95
317	765,89	803	1300,00	1289	791,74
318	767,4	804	1298,00	1290	789,85
319	768,75	805	1296,00	1291	789,47
320	762,28	806	1294,00	1292	789,19
321	760,16	807	1292,00	1293	788,25
322	758,8	808	1.288,00	1294	787,18
323	757,95	809	1.284,00	1295	787,02
324	751,55	810	1.283,00	1296	786,74
325	750,69	811	1.284,00	1297	778,53
326	753,55	812	1.286,00	1298	778,94
327	755	813	1.288,00	1299	779,11
328	757,04	814	1.289,00	1300	779,39
329	775,35	815	1.290,00	1301	779,57
330	775,83	816	1.293,00	1302	779,98

Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)
331	778,27	817	1.295,00	1303	780,2
332	778,88	818	1.300,00	1304	780,37
333	777,8	819	1.305,00	1305	780,69
334	778,85	820	1.310,00	1306	780,6
335	778,59	821	1.315,00	1307	781,23
336	778,44	822	1.309,00	1308	781,74
337	775,91	823	1.307,00	1309	783,6
338	776,69	824	1.306,00	1310	785,56
339	773,76	825	1.306,00	1311	785,91
340	774,09	826	1.308,00	1312	787,3
341	771,6	827	1.313,00	1313	788,12
342	772,42	828	1.316,00	1314	788,79
343	768,48	829	1.317,00	1315	776,76
344	768,75	830	1.325,00	1316	776,25
345	766,32	831	1.325,00	1317	777,96
346	764,17	832	1.318,00	1318	777,82
347	760	833	1.315,00	1319	778,57
348	757,69	834	1.309,00	1320	778,76
349	777,42	835	1.300,00	1321	781,42
350	775,53	836	1.295,00	1322	782,23
351	773,06	837	1.293,00	1323	782,7
352	772,17	838	1.297,00	1324	770,1
353	769,95	839	1.297,00	1325	770,17
354	767	840	1.300,00	1326	770,21
355	767,88	841	1.300,00	1327	770,26
356	768,14	842	1.300,00	1328	770,29
357	768,31	843	1.304,00	1329	770,43
358	769,66	844	1.306,00	1330	770,41
359	771,42	845	1.310,00	1331	770,54
360	772,29	846	1.308,00	1332	770,59
361	773,43	847	1.308,00	1333	770,72
362	775,31	848	1.299,00	1334	765,28
363	777,02	849	1.298,00	1335	765,78
364	776,06	850	1.297,00	1336	765,7
365	774,74	851	1.296,00	1337	766,24
366	772,53	852	1.300,00	1338	766,56
367	770,76	853	1.300,00	1339	766,82
368	766,78	854	1.299,00	1340	764,14

Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)
369	765,59	855	1.300,00	1341	763,84
370	764,61	856	1.300,00	1342	763,64
371	765,18	857	1.298,00	1343	763,38
372	768,82	858	1.299,00	1344	763,32
373	771,16	859	1.299,00	1345	763,28
374	771,84	860	1.300,00	1346	763,68
375	774,53	861	1.302,00	1347	763,3
376	768,12	862	1.303,00	1348	788,54
377	765,14	863	1.302,00	1349	790,35
378	763,99	864	1.302,00	1350	785,44
379	761,5	865	1.300,00	1351	784,94
380	762,8	866	1.298,00	1352	775
381	763,08	867	1.297,00	1353	776,95
382	768,94	868	1.296,00	1354	770
383	770,45	869	1.296,00	1355	765,8
384	772,24	870	1.294,00	1356	763,32
385	773,47	871	1.292,00	1357	763,69
386	775,68	872	1.289,00	1358	818
387	777,76	873	1.292,00	1359	892
388	777,24	874	1.294,00	1360	827
389	777,6	875	1.294,00	1361	818
390	778	876	1.297,00	1362	818
391	778,53	877	1.300,00		
392	778,78	878	1.307,00		
393	778,61	879	1.305,00		
394	778,33	880	1.303,00		
395	778,17	881	1.300,00		
396	775,57	882	1.298,00		
397	773,54	883	1.295,00		
398	772,48	884	1.294,00		
399	771,46	885	1.292,00		
400	769,73	886	1.290,00		
401	768,57	887	1.290,00		
402	770,85	888	1.289,00		
403	772,31	889	1.287,00		
404	774,82	890	1.287,00		
405	777,52	891	1.286,00		
406	776,61	892	1.285,00		

Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)
407	776,36	893	1.287,00
408	774,14	894	1.290,00
409	772,24	895	1.293,00
410	771	896	1.295,00
411	769,1	897	1.300,00
412	765,59	898	1.297,00
413	763,67	899	1.294,00
414	764,82	900	1.295,00
415	767,9	901	1.293,00
416	767	902	1.290,00
417	767,2	903	1.287,00
418	767	904	1.290,00
419	767,16	905	1.292,00
420	762,43	906	1.290,00
421	761,7	907	1.287,00
422	760,8	908	1.287,00
423	763,43	909	1.290,00
424	765,77	910	1.292,00
425	767,55	911	1.294,00
426	751,07	912	1.296,00
427	759,14	913	1.298,00
428	761,02	914	1.298,00
429	758,36	915	1.300,00
430	759,63	916	1.300,00
431	760,48	917	1.301,00
432	762,73	918	1.298,00
433	765,54	919	1.299,00
434	766,91	920	1.297,00
435	768,39	921	1.294,00
436	750,75	922	1.298,00
437	752,61	923	1.300,00
438	755,55	924	1.302,00
439	756,74	925	1.302,00
440	750,3	926	1.304,00
441	750,42	927	1.306,00
442	751,59	928	1.306,00
443	752,24	929	1.306,00

Nodo	Elevación (m)	Nodo	Elevación (m)
445	754,49	931	1.310,00
446	747,5	932	1.310,00
447	755,88	933	1.308,00
448	756,65	934	1.306,00
449	755,99	935	1.302,00
450	756,79	936	1.300,00
451	757,33	937	1.298,00
452	757,78	938	1.298,00
453	758,11	939	1.297,00
454	763,14	940	1.297,00

Anexo 4. Presiones obtenidas en los nodos de la red.

Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)
1	87	455	71	909	50
2	66	456	71	910	48
3	57	457	70	911	46
4	70	458	71	912	44
5	65	459	70	913	42
6	55	460	75	914	42
7	56	461	75	915	40
8	58	462	74	916	40
9	59	463	71	917	39
10	65	464	70	918	42
11	70	465	69	919	41
12	85	466	70	920	43
13	73	467	69	921	46
14	81	468	67	922	42
15	80	469	68	923	40
16	50	470	68	924	38
17	51	471	68	925	38
18	75	472	69	926	36
19	67	473	63	927	34
20	63	474	64	928	34
21	59	475	64	929	34
22	59	476	59	930	1

Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)
23	54	477	59	931	1
24	53	478	59	932	1
25	52	479	59	933	1
26	31	480	59	934	2
27	32	481	58	935	6
28	33	482	56	936	8
29	37	483	55	937	10
30	42	484	55	938	10
31	41	485	55	939	11
32	39	486	55	940	11
33	49	487	55	941	13
34	48	488	56	942	14
35	48	489	56	943	17
36	46	490	57	944	18
37	46	491	56	945	21
38	46	492	55	946	24
39	45	493	54	947	23
40	45	494	53	948	26
41	52	495	53	949	28
42	52	496	59	950	29
43	52	497	57	951	33
44	51	498	53	952	34
45	50	499	63	953	36
46	47	500	62	954	38
47	46	501	61	955	38
48	46	502	60	956	39
49	46	503	60	957	41
50	49	504	60	958	44
51	48	505	61	959	46
52	50	506	62	960	47
53	50	507	62	961	49
54	24	508	69	962	51
55	30	509	66	963	52
56	38	510	66	964	54
57	36	511	64	965	54
58	35	512	62	966	56
59	36	513	61	967	57
60	33	514	60	968	60
61	34	515	59	969	61

Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)
62	32	516	55	970	61
63	33	517	56	971	60
64	32	518	57	972	58
65	32	519	57	973	55
66	32	520	56	974	55
67	35	521	55	975	54
68	45	522	54	976	54
69	45	523	54	977	52
70	51	524	54	978	51
71	52	525	54	979	49
72	51	526	54	980	48
73	53	527	53	981	47
74	54	528	53	982	47
75	59	529	52	983	51
76	64	530	54	984	53
77	69	531	54	985	54
78	69	532	53	986	59
79	79	533	53	987	61
80	89	534	53	988	65
81	42	535	52	989	68
82	45	536	51	990	70
83	48	537	51	991	2
84	50	538	51	992	2
85	52	539	52	993	2
86	56	540	52	994	4
87	60	541	52	995	6
88	64	542	52	996	7
89	68	543	56	997	11
90	72	544	55	998	13
91	76	545	55	999	15
92	64	546	54	1000	16
93	85	547	53	1001	17
94	69	548	53	1002	18
95	65	549	52	1003	19
96	67	550	51	1004	20
97	71	551	51	1005	22
98	68	552	51	1006	25
99	61	553	52	1007	29
100	82	554	52	1008	32

Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)
101	82	555	51	1009	35
102	78	556	51	1010	39
103	76	557	50	1011	40
104	72	558	50	1012	42
105	71	559	49	1013	44
106	81	560	49	1014	47
107	80	561	50	1015	50
108	78	562	49	1016	54
109	74	563	52	1017	55
110	87	564	51	1018	58
111	88	565	50	1019	62
112	33	566	50	1020	65
113	45	567	50	1021	65
114	47	568	50	1022	69
115	52	569	49	1023	73
116	44	570	49	1024	73
117	54	571	49	1025	74
118	57	572	49	1026	75
119	55	573	49	1027	77
120	67	574	50	1028	79
121	56	575	50	1029	79
122	66	576	49	1030	81
123	71	577	48	1031	84
124	58	578	49	1032	84
125	63	579	50	1033	87
126	74	580	58	1034	90
127	71	581	57	1035	2
128	77	582	55	1036	3
129	49	583	55	1037	6
130	53	584	56	1038	6
131	79	585	55	1039	9
132	83	586	55	1040	14
133	86	587	54	1041	15
134	27	588	53	1042	18
135	28	589	53	1043	20
136	31	590	52	1044	22
137	38	591	50	1045	24
138	17	592	46	1046	26
139	39	593	47	1047	1

Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)
140	44	594	48	1048	1
141	46	595	35	1049	2
142	63	596	38	1050	3
143	36	597	40	1051	3
144	38	598	43	1052	4
145	41	599	46	1053	4
146	44	600	47	1054	5
147	47	601	46	1055	6
148	48	602	46	1056	6
149	49	603	45	1057	6
150	49	604	44	1058	7
151	49	605	44	1059	7
152	51	606	43	1060	8
153	52	607	43	1061	8
154	51	608	42	1062	8
155	52	609	42	1063	10
156	48	610	39	1064	9
157	48	611	37	1065	9
158	49	612	35	1066	9
159	48	613	33	1067	10
160	49	614	32	1068	10
161	49	615	31	1069	10
162	51	616	32	1070	12
163	52	617	33	1071	12
164	53	618	33	1072	10
165	54	619	34	1073	10
166	55	620	34	1074	10
167	57	621	35	1075	11
168	58	622	36	1076	11
169	45	623	37	1077	11
170	48	624	30	1078	11
171	50	625	28	1079	12
172	50	626	33	1080	14
173	51	627	30	1081	13
174	51	628	32	1082	15
175	51	629	33	1083	14
176	52	630	34	1084	14
177	51	631	36	1085	15
178	50	632	38	1086	15

Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)
179	49	633	38	1087	14
180	49	634	41	1088	17
181	50	635	42	1089	17
182	53	636	47	1090	18
183	50	637	49	1091	20
184	52	638	50	1092	26
185	53	639	51	1093	4
186	54	640	52	1094	75
187	55	641	45	1095	89
188	54	642	46	1096	89
189	55	643	47	1097	1
190	56	644	48	1098	67
191	58	645	48	1099	67
192	57	646	49	1100	67
193	55	647	50	1101	34
194	62	648	68	1102	38
195	68	649	67	1103	39
196	68	650	67	1104	40
197	69	651	66	1105	41
198	72	652	69	1106	42
199	86	653	67	1107	42
200	84	654	72	1108	43
201	84	655	65	1109	43
202	82	656	65	1110	43
203	82	657	65	1111	44
204	81	658	66	1112	44
205	79	659	68	1113	45
206	79	660	75	1114	44
207	84	661	77	1115	47
208	68	662	78	1116	47
209	67	663	79	1117	48
210	66	664	79	1118	45
211	67	665	80	1119	42
212	65	666	80	1120	39
213	74	667	81	1121	34
214	76	668	83	1122	48
215	79	669	81	1123	63
216	78	670	82	1124	34
217	78	671	84	1125	49

Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)
218	66	672	85	1126	49
219	64	673	86	1127	49
220	68	674	70	1128	49
221	68	675	68	1129	47
222	72	676	68	1130	46
223	76	677	72	1131	50
224	66	678	-8	1132	51
225	67	679	1	1133	51
226	64	680	14	1134	50
227	66	681	14	1135	51
228	68	682	89	1136	50
229	70	683	2	1137	48
230	72	684	10	1138	48
231	74	685	26	1139	49
232	75	686	25	1140	51
233	69	687	48	1141	56
234	70	688	52	1142	55
235	56	689	42	1143	52
236	56	690	44	1144	48
237	56	691	55	1145	47
238	55	692	60	1146	46
239	55	693	62	1147	45
240	54	694	61	1148	56
241	59	695	70	1149	58
242	59	696	51	1150	58
243	59	697	46	1151	59
244	63	698	64	1152	58
245	64	699	59	1153	57
246	63	700	50	1154	56
247	68	701	0	1155	56
248	69	702	2	1156	53
249	68	703	10	1157	51
250	68	704	12	1158	52
251	68	705	38	1159	59
252	73	706	44	1160	59
253	74	707	54	1161	59
254	72	708	63	1162	57
255	72	709	65	1163	55
256	72	710	1	1164	59

Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)
257	71	711	1	1165	63
258	78	712	1	1166	64
259	77	713	14	1167	64
260	76	714	19	1168	64
261	76	715	43	1169	64
262	52	716	48	1170	63
263	52	717	61	1171	64
264	52	718	66	1172	64
265	52	719	73	1173	66
266	52	720	74	1174	68
267	52	721	76	1175	69
268	53	722	81	1176	69
269	53	723	85	1177	68
270	53	724	79	1178	67
271	54	725	84	1179	68
272	54	726	85	1180	68
273	56	727	70	1181	70
274	58	728	59	1182	76
275	60	729	78	1183	79
276	61	730	83	1184	80
277	62	731	71	1185	78
278	64	732	76	1186	76
279	71	733	68	1187	51
280	72	734	86	1188	50
281	73	735	27	1189	50
282	75	736	83	1190	49
283	77	737	38	1191	48
284	79	738	17	1192	48
285	78	739	2	1193	48
286	81	740	82	1194	48
287	81	741	34	1195	49
288	83	742	0	1196	50
289	81	743	87	1197	51
290	85	744	11	1198	50
291	85	745	10	1199	50
292	84	746	12	1200	50
293	53	747	67	1201	50
294	53	748	68	1202	50
295	54	749	46	1203	50

Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)
296	55	750	45	1204	50
297	55	751	57	1205	51
298	56	752	46	1206	51
299	52	753	49	1207	51
300	53	754	57	1208	51
301	53	755	45	1209	52
302	54	756	48	1210	49
303	54	757	46	1211	49
304	54	758	68	1212	49
305	54	759	62	1213	49
306	54	760	49	1214	49
307	55	761	69	1215	49
308	55	762	48	1216	49
309	57	763	64	1217	49
310	57	764	64	1218	47
311	56	765	64	1219	48
312	55	766	64	1220	46
313	63	767	68	1221	48
314	61	768	68	1222	48
315	62	769	52	1223	45
316	61	770	63	1224	42
317	68	771	84	1225	39
318	67	772	50	1226	37
319	65	773	53	1227	34
320	72	774	68	1228	48
321	74	775	77	1229	63
322	75	776	31	1230	63
323	76	777	58	1231	44
324	82	778	95	1232	44
325	83	779	94	1233	44
326	80	780	82	1234	43
327	79	781	55	1235	43
328	77	782	47	1236	45
329	59	783	81	1237	45
330	58	784	84	1238	55
331	56	785	2	1239	57
332	55	786	4	1240	57
333	56	787	10	1241	59
334	55	788	12	1242	59

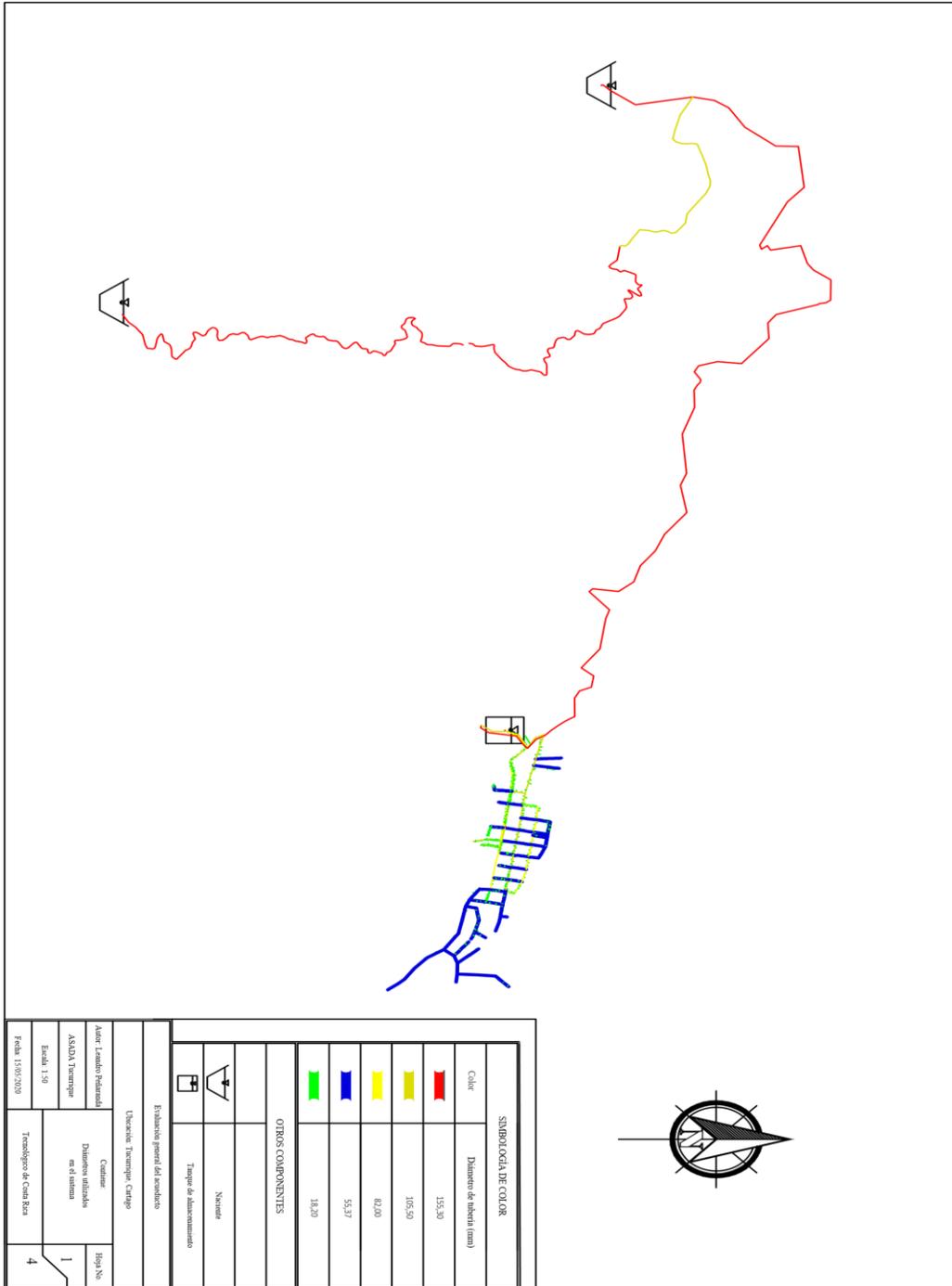
Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)
335	55	789	28	1243	59
336	56	790	30	1244	59
337	58	791	40	1245	56
338	57	792	51	1246	56
339	60	793	50	1247	57
340	60	794	40	1248	58
341	62	795	30	1249	58
342	62	796	25	1250	58
343	65	797	25	1251	59
344	65	798	27	1252	59
345	68	799	32	1253	76
346	70	800	32	1254	78
347	74	801	36	1255	81
348	76	802	36	1256	80
349	57	803	40	1257	79
350	58	804	42	1258	78
351	61	805	44	1259	77
352	62	806	46	1260	76
353	64	807	48	1261	59
354	67	808	52	1262	60
355	66	809	56	1263	62
356	66	810	57	1264	63
357	66	811	56	1265	64
358	64	812	54	1266	64
359	63	813	52	1267	64
360	62	814	51	1268	64
361	61	815	50	1269	66
362	59	816	47	1270	68
363	57	817	45	1271	69
364	58	818	40	1272	68
365	59	819	35	1273	68
366	61	820	30	1274	68
367	63	821	25	1275	68
368	67	822	31	1276	68
369	68	823	33	1277	34
370	69	824	34	1278	36
371	69	825	34	1279	38
372	65	826	32	1280	38
373	63	827	27	1281	39

Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)
374	62	828	24	1282	40
375	59	829	23	1283	40
376	66	830	15	1284	40
377	69	831	15	1285	40
378	70	832	22	1286	42
379	72	833	25	1287	42
380	71	834	31	1288	43
381	71	835	40	1289	43
382	65	836	45	1290	45
383	64	837	47	1291	45
384	62	838	43	1292	45
385	61	839	43	1293	46
386	58	840	40	1294	47
387	56	841	40	1295	47
388	57	842	40	1296	48
389	56	843	36	1297	56
390	56	844	34	1298	55
391	55	845	30	1299	55
392	55	846	32	1300	55
393	55	847	32	1301	55
394	56	848	41	1302	54
395	56	849	42	1303	54
396	58	850	43	1304	54
397	60	851	44	1305	53
398	61	852	40	1306	54
399	62	853	40	1307	53
400	64	854	41	1308	52
401	65	855	40	1309	51
402	63	856	40	1310	49
403	62	857	42	1311	48
404	59	858	41	1312	47
405	56	859	41	1313	46
406	57	860	40	1314	45
407	58	861	38	1315	57
408	60	862	37	1316	58
409	62	863	38	1317	56
410	63	864	38	1318	56
411	65	865	40	1319	56
412	68	866	42	1320	55

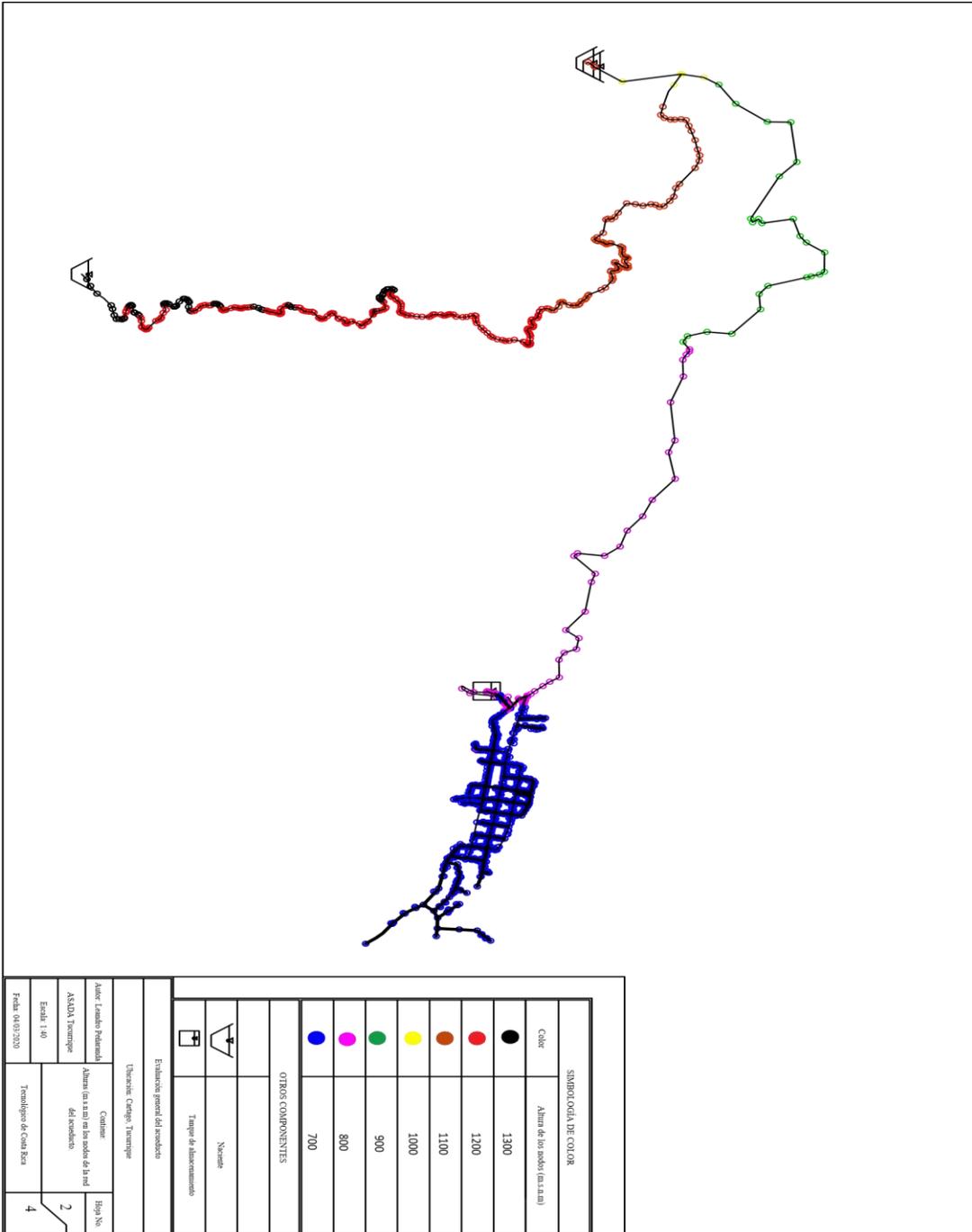
Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)
413	70	867	43	1321	53
414	69	868	44	1322	52
415	66	869	44	1323	51
416	67	870	46	1324	64
417	67	871	48	1325	64
418	67	872	51	1326	64
419	67	873	48	1327	64
420	71	874	46	1328	64
421	72	875	46	1329	64
422	73	876	43	1330	64
423	70	877	40	1331	63
424	68	878	33	1332	63
425	66	879	35	1333	63
426	83	880	37	1334	69
427	75	881	40	1335	68
428	73	882	42	1336	68
429	76	883	45	1337	68
430	74	884	46	1338	67
431	73	885	48	1339	67
432	71	886	50	1340	70
433	68	887	50	1341	70
434	67	888	51	1342	70
435	66	889	53	1343	71
436	83	890	53	1344	71
437	81	891	54	1345	71
438	78	892	55	1346	70
439	77	893	53	1347	71
440	84	894	50	1348	46
441	84	895	47	1349	44
442	82	896	45	1350	49
443	82	897	40	1351	49
444	81	898	43	1352	59
445	79	899	46	1353	57
446	86	900	45	1354	64
447	78	901	47	1355	68
448	77	902	50	1356	71
449	78	903	53	1357	70
450	77	904	50	1358	17
451	77	905	48	1359	1

Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)	Nodo	Presión (m.c.a)
452	76	906	50	1360	9
453	76	907	53	1361	17
454	71	908	53	1362	17

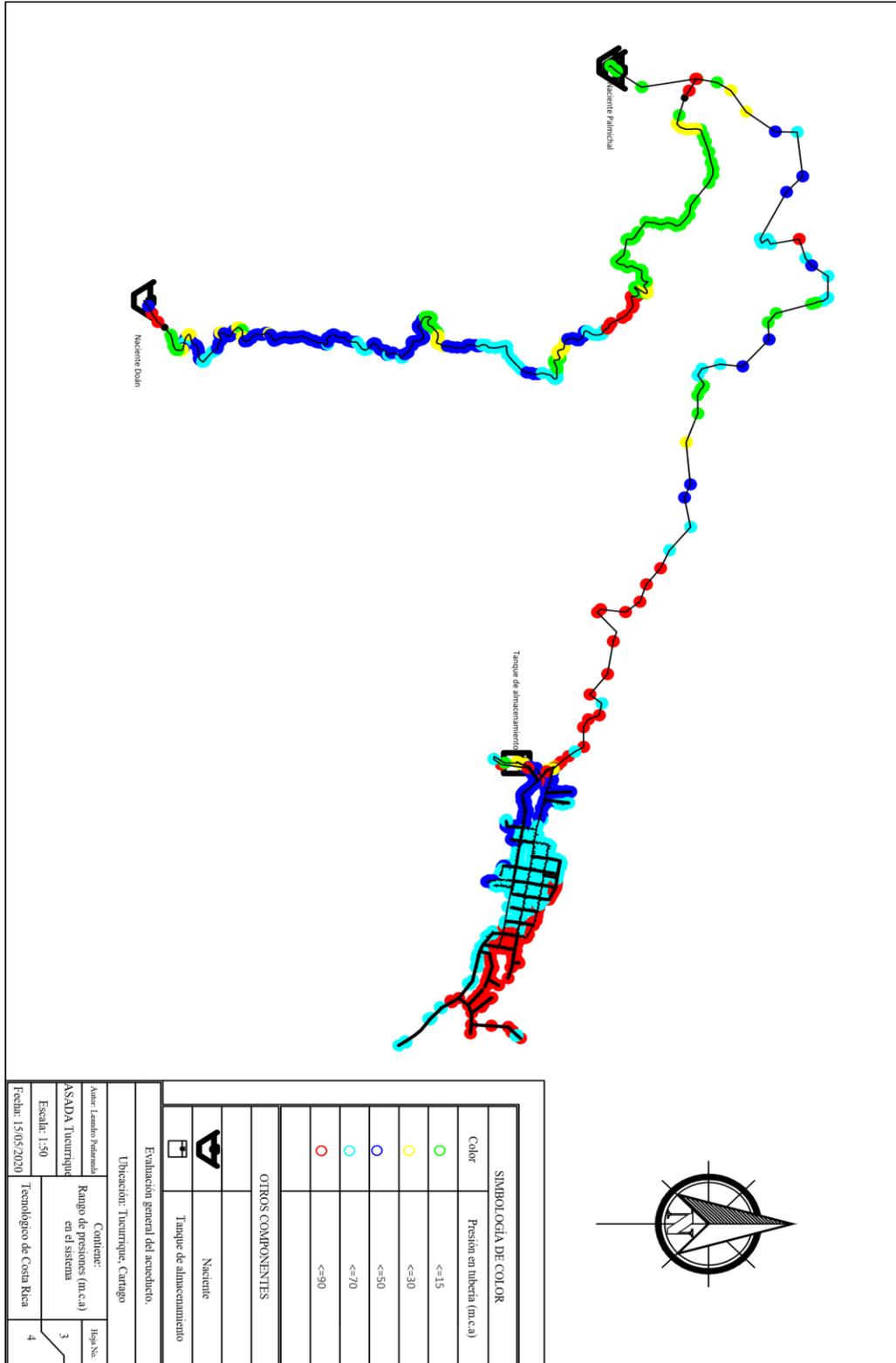
Anexo 5. Distribución de diámetros en la red de conducción y distribución.



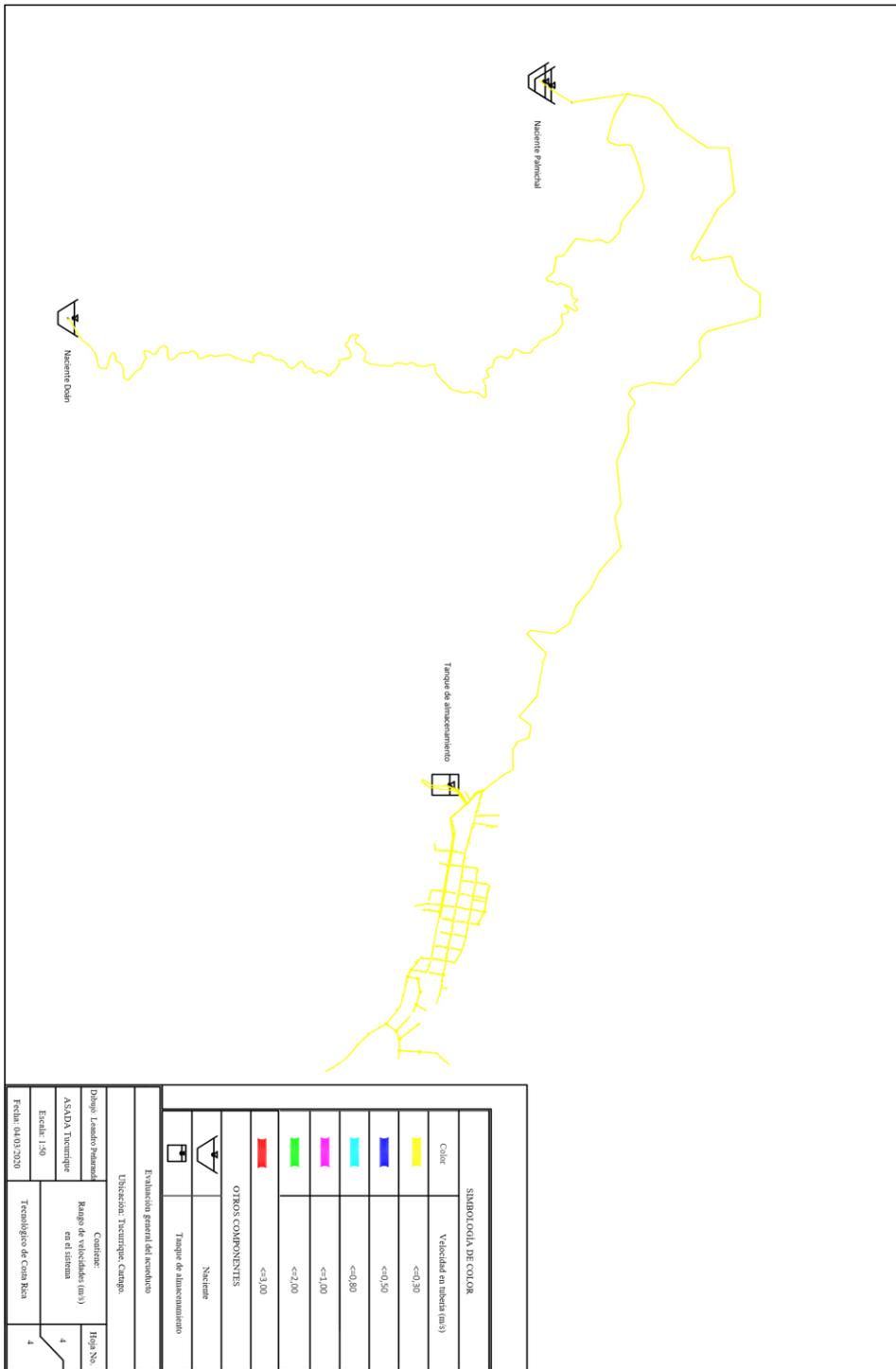
Anexo 6. Rangos de altura a lo largo de la red de distribución y conducción



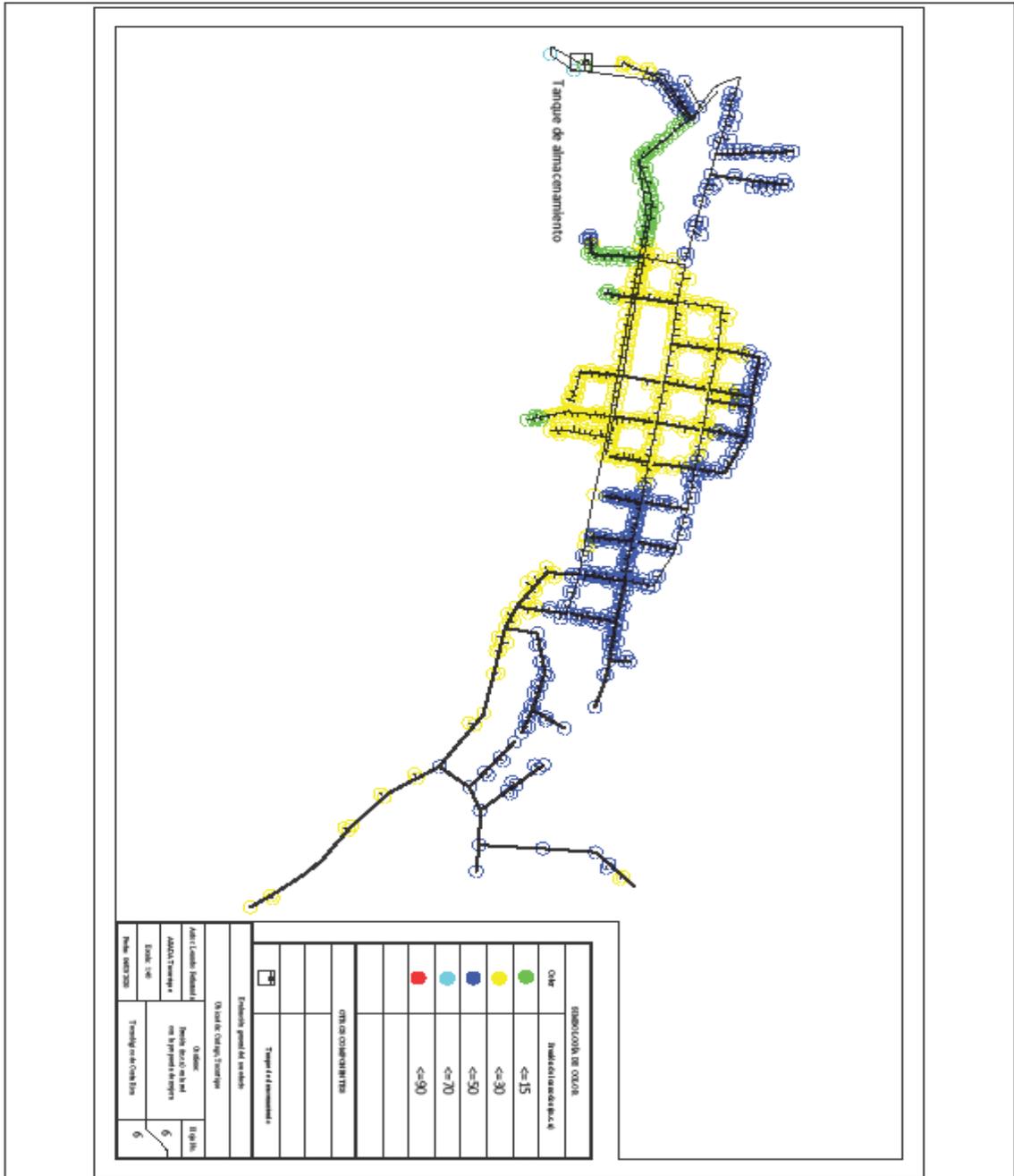
Anexo 7. Rangos de presión en la red de distribución y conducción



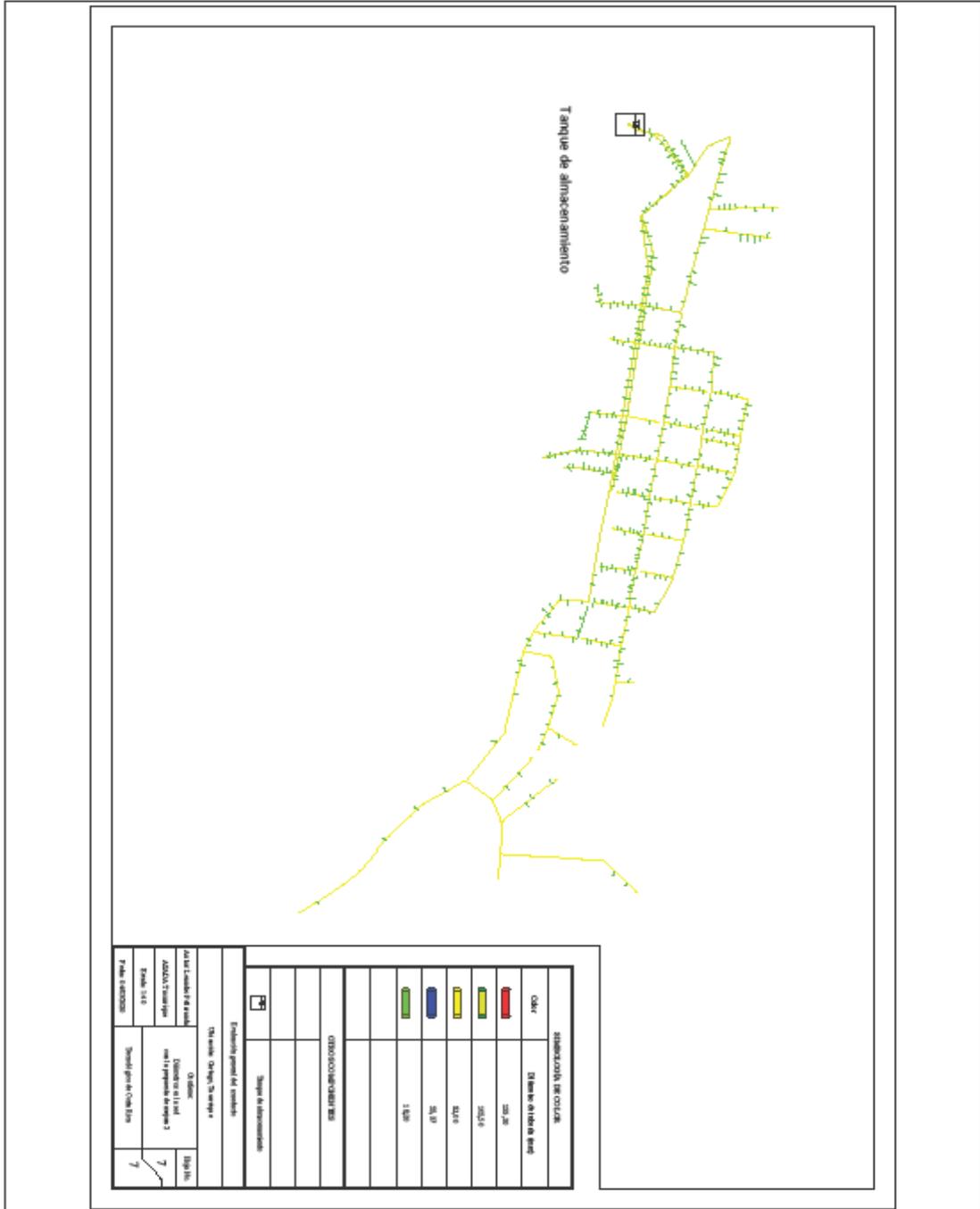
Anexo 8. Rangos de velocidad en la red



Anexo 10. Presiones obtenidas en la red de distribución con la1 mejora 1.



Anexo 11. Diámetros utilizados en la propuesta de mejora 2.



Anexo 13. velocidades obtenidas con la propuesta de mejora 2.

