

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 DE OPERACIÓN Y MODELACIÓN, DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN
PARA RIEGO Y ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO ANIMAL, EN LAS
COMUNIDADES DE SAN RAFAEL LOS ÁNGELES DE GUACIMAL, SARDINAL,
PUNTARENAS.

ISAAC QUIRÓS MADRIGAL

CARTAGO, 2021

ACTA DE CALIFICACION DE TRABAJOS DE GRADUACION

A las 9:00 horas del día 24 del mes de Noviembre del año 2021 el estudiante:
Isaac Quirós Madrigal
presenta y defiende su trabajo de graduación titulado:

Evaluación de operación y modelación, de la red de distribución para riego y
abastecimiento de agua para consumo animal, en las comunidades de San Rafael los
Ángeles de Guacimal, Sardinal, Puntarenas.

ante el Tribunal de Evaluación compuesto por los siguientes miembros:

Presidente (a): Laura Segura

Asesor (a) de la Escuela: Adrián Chavarría

Lector (a): Iliana Monge

Se le confiere la nota de 93 y firman conforme lo dispone el Reglamento de Trabajos

Finales de Graduación:

LAURA PATRICIA
SEGURA SERRANO
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
LAURA PATRICIA SEGURA
SERRANO (FIRMA)
Fecha: 2021.11.24 12:46:16
-06'00'

PRESIDENTE (A)

ADRIAN
ENRIQUE
CHAVARRIA
VIDAL (FIRMA)

Firmado digitalmente
por ADRIAN ENRIQUE
CHAVARRIA VIDAL
(FIRMA)
Fecha: 2021.11.24
10:11:52 -06'00'

ASESOR(A) DE LA ESCUELA

Iliana Monge J.

LECTOR (A)

Isaac

ESTUDIANTE



Licencia seleccionada

Reconocimiento 4.0 Internacional



¡Esta es una licencia de Cultura Libre!



Este obra está bajo una licencia de
Creative Commons Reconocimiento 4.0
Internacional.

Índice de contenidos

1. RESUMEN	7
2. ABSTRACT	9
3. INTRODUCCIÓN.....	11
3.1. Objetivos	13
3.1.1. Objetivo general	13
3.1.2. Objetivo específico	13
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	14
4.1. Red de distribución	15
4.1.1. Tipos de redes	16
4.2. Esquema de una red	16
4.2.1. Tubería.....	17
4.2.2. Piezas especiales.....	17
a. Válvulas	17
4.2.3. Tanques de distribución.....	20
4.2.4. Medidores	21
4.3. Obras de captación y toma	21
4.4. Bombas.....	23
4.5. Tubería de aducción	24
4.6. Planta potabilizadora.....	24
4.7. Tanque de almacenamiento.....	25
4.8. Estaciones de bombeo.....	25
4.9. Golpe de ariete	26
4.10. Velocidad.....	27

4.11.	Modelación hidráulica.....	28
5.	METODOLOGÍA.....	32
5.1.	Fase I: Recopilación de datos.....	34
5.1.1.	Estudio de antecedentes.....	34
5.1.2.	Visita a campo.....	34
5.1.3.	Levantamiento topográfico.....	34
5.1.4.	Aforo.....	35
5.2.	Fase II: Modelación.....	35
5.3.	Fase III: Generar plan de manejo:.....	36
6.	RESULTADOS.....	38
6.1.	Ubicación de la zona del proyecto.....	39
6.2.	Descripción de la red.....	40
6.3.	Levantamiento topográfico.....	42
6.4.	Situación actual del proyecto.....	44
6.5.	Obras de concreto.....	45
6.6.	Obras civiles del proyecto.....	45
6.7.	Diámetros de la tubería.....	46
6.8.	Modelación inicial.....	47
6.9.	Patrones de riego.....	48
6.10.	Modelación patrón uno.....	50
6.11.	Modelación patrón dos.....	51
6.12.	Modelación patrón tres.....	52
6.13.	Análisis de la red por condiciones de presión.....	53
6.14.	Análisis de la red por condiciones de velocidad.....	58

7.	CONCLUSIONES.....	61
8.	RECOMENDACIONES.....	63
9.	BIBLIOGRAFÍA	65
10.	ANEXOS	69
10.1.	Anexo1, Topografía de la red principal.....	70
10.2.	Anexo 2, Especificaciones de tubería.....	92

Índice de figuras

Figura 1. Golpe de ariete en distintos instantes.	26
Figura 1. Mapa de la zona de estudio.	39
Figura 2. Tramo inicial proyecto sardinal.....	40
Figura 3. Proyecto con la primera anexión.....	41
Figura 4. Último tramo ampliado del proyecto original.....	42
Figura 5. Puntos del levantamiento topográfico.....	43
Figura 6. Diámetro de la tubería a lo largo de la red.....	44
Figura 7. Obras de concreto a lo largo de la red.....	45
Figura 8. Obras civiles del proyecto.....	46
Figura 8. SDR de la tubería a lo largo de la red.....	47
Figura 9. Modelación inicial del proyecto.....	48
Figura 10. Patrón 1 tiempo de riego.....	49
Figura 11. Patrón 2 de tiempo de uso del agua.....	49
Figura 12. Patrón 3 de tiempo de aprovechamiento.....	50
Figura 13. Modelación para el primer patrón.....	51
Figura 14. Modelación para el segundo patrón.....	52
Figura 15. Modelación para el patrón3.....	53
Figura 16. Puntos con presiones cercanos al límite.....	55
Figura 17. Tramo con velocidades mayores a las recomendadas para el diseño.....	57
Figura 18. Tramo de tubería que sobrepasa los límites de velocidad.....	59

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Coeficientes Hazen-Williams para diferentes materiales	27
Cuadro 2. Ventajas y desventajas de los tipos de modelación	29
Cuadro 3. Diferentes modelos de softwares	31
Cuadro 4. Fases de la metodología	33
Cuadro 5. Reservorios con su respectivo volumen y área.	43
Cuadro 6. Puntos de tuberías que sobrepasa las presiones de diseño	54
Cuadro 7. Puntos donde la velocidad es mayor a la recomendada	56
Cuadro 8. Puntos que sobrepasan las velocidades de diseño.....	58

1. RESUMEN

Mediante la elaboración de este trabajo en la red de distribución, conducción y almacenamiento de agua en la comunidad de San Rafael los Ángeles de Guacimal, Sardinal, Puntarenas, se conocieron las características del sistema mediante una evaluación de las condiciones actuales del proyecto, tomando en cuenta aspectos hidráulicos como, velocidad, presión, diámetros, SDR, según lo establecido por la norma del AyA y las especificaciones de la institución gubernamental SENARA. El proyecto consiste en una red de aproximadamente 30km lineales de tubería y cuenta con 81 parcelarios para el año 2021.

Se logró determinar realizando la modelación que la red cuenta con un tramo que presenta presiones mayores a las recomendadas para el diseño dadas por la norma técnica del AyA, este tramo se encuentra entre los puntos 447 y 457 del levantamiento topográfico, de igual forma se encontraron 2 tramos de la red en que se encuentran velocidades mayores a los 2,5m/s (entre el punto T-928 y el punto T-923 y el segundo tramo del punto 199 hasta el punto 210) según la norma técnica del AyA a estas velocidades ya se pueden generar problemas en la conducción.

Por último, se logró determinar con la modelación y a las especificaciones de los parcelarios, que la red con las características actuales debe de funcionar correctamente. Los faltantes de caudal o bajas en la presión que algunos parcelarios mencionan es debido al consumo incorrecto o abusivo de algunos parcelarios o personas externas al proyecto que generan problemas al funcionamiento óptimo de la misma.

Palabras claves: Redes de abastecimiento, conducción, tanque de almacenamiento, parcelario, presión, velocidad.

2. ABSTRACT

Through the elaboration of this work in the water distribution, conduction, and storage network in the community of San Rafael los Ángeles de Guacimal, Sardinal, Puntarenas, the characteristics of the system were known through an evaluation of the current conditions of the project, taking in hydraulic aspects such as speed, pressure, diameters, SDR, as established by the AyA standard and the specifications of the government institution SENARA. The project consists of a network of approximately 30 linear kilometers of pipeline and has 81 parcels by 2021.

It was possible to determine by modeling that the network has a section that presents pressures greater than those recommended for the design given by the AyA technical standard, this section is located between points 447 and 457 of the topographic survey, in the same way they were found 2 sections of the network with speeds greater than 2.5m / s (between point T-928 and point T-923 and the second section from point 199 to point 210) according to the technical standard of AyA a these speeds can already cause problems in driving.

Finally, it was possible to determine with the modeling and the specifications of the parcels, that the network with the current characteristics must work correctly. The lack of flow or drops in pressure that some parcels mention is due to the incorrect or abusive consumption of some parcels or people outside the project that generate problems for the optimal functioning of the same.

Keywords: Supply networks, conduction, parcel, storage tank, pressure, speed.

3. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales retos que enfrenta hoy la humanidad es la demanda de agua para riego y consumo animal que a la vez es necesaria para la producción de alimentos. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) calcula que la superficie bajo riego ha crecido a un ritmo constante del 5 % cada diez años y Costa Rica no es la excepción (O'neal, 2017).

El país ya está experimentando los efectos del cambio climático que repercutirán enormemente en la disponibilidad del agua por lo que se crearon instituciones del estado para combatir esta problemática y necesidades de las personas una de estas es el SENARA, en la cual se va a llevar a cabo el proyecto Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) la cual fue creada para la gestión del recurso hídrico y en la articulación estratégica, con otras instituciones del sector agropecuario y ambiente. Esta institución tiene como misión, gestionar el recurso hídrico mediante la investigación, innovación y gestión de aguas subterráneas y superficiales y la implementación de proyectos de riego, drenaje y prevención contra inundaciones para mejorar la productividad, el desarrollo y la calidad de vida de todos los habitantes (SENARA, 2021).

Este proyecto surge debido a la necesidad de realizar un evaluación para obtener la manera más óptima de manejar 2 proyectos inicialmente diferentes (San Rafael y Los Ángeles) los cuales fueron creados para que funcionaran de manera separada pero debido a complicaciones políticas, se canceló la concesión de toma de agua del río Aranjuez de una de estas redes de distribución (ubicada en Los Ángeles) por lo que se requirió tomar el agua destinada a un solo proyecto (San Rafael) y dar mediante concesión un caudal de 15 l/s al proyecto que no se logró concluir el cual ya estaba en su etapa final de construcción (Los Ángeles) (Solís, 2021).

Este proyecto debido a complicaciones naturales como la tormenta Nate, y deslizamientos no se encuentra en funcionamiento, pero está previsto para que beneficie a 72 agricultores con más de 55 ha en total y para consumo de ganado se mantiene 13 beneficiarios con terrenos de entre 5 y 600 ha. Pero se han estado presentando problemas de control y manejos del recurso hídrico ya que en algunas ocasiones el caudal suministrado y presión no es igual al que se solicitó. Por lo que se requiere realizar este proyecto con el fin dar un mejoramiento en el manejo y control

de apertura y cierre de válvulas, y modificar los turnos o tiempos actuales para mantener las mejores condiciones y para cumplir las necesidades, restricciones y compromisos legales de los 85 parcelarios que se encuentran actualmente en el proyecto (Solís, 2021).

Una vez evaluado y demostrado el plan de mejoramiento de operación mediante la modelación de la red de distribución en el programa de EPANET, se puede incorporar los cambios al proyecto de la comunidad y lograr que todos los usuarios mejoren sus condiciones actuales de producción y así obtener mayores beneficios ya que es indispensable para el desarrollo de la comunidad de Sardinal contar con disponibilidad de agua para poder llevar a cabo las diferentes actividades.

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivo general

Evaluar la operación de la red de distribución, conducción y almacenamiento, mediante la modelación y características actuales del proyecto, con el fin de recomendar la forma más adecuada para su operación, basado en el diseño actual y las necesidades de los parcelarios, ubicado en Sardinal, Puntarenas.

3.1.2. Objetivo específico

- a. Valorar las condiciones de la red de distribución del proyecto, mediante modelaciones hidráulicas, para conocer la situación actual de la misma.
- b. Predecir la operación real de la red y las mejoras que se le pueden hacer, por medio de modelaciones hidráulicas, para que se pueda hacer un uso óptimo de esta, cumpliendo las necesidades y restricciones de los parcelarios.
- c. Recomendar el funcionamiento óptimo para los 81 parcelarios, mediante aspectos hidráulicos y de operación para tener tiempos de apertura y cierre de válvulas (tiempos de riego) funcionales para los mismos.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. Red de distribución

La red de distribución o tubería principal se puede definir como una red de distribución (que en lo sucesivo se denominará red) es el conjunto de tubos, accesorios y estructuras que llevan el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta la toma domiciliaria o hidrantes públicos, o finca donde se utilice. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial, industrial y para escenarios extraordinarios como extinguir incendios. La red debe proporcionar este servicio todo el tiempo, en cantidad suficiente, con la calidad requerida y a una presión adecuada. Los límites de calidad del agua van a estar en función a las necesidades que se le va a dar a la misma (CONAGUA, 2015).

De igual manera se puede definir como líneas de conducción, el conjunto de conductos destinado a llevar el agua desde la fuente de abastecimiento hasta el sitio de entrega. Puede ser cerrada (tubería) o abierta (canal) y debe ser fácil de inspeccionar para detectar y reparar cualquier fuga, por eso suele instalarse paralela a algún camino existente. La conducción puede ser por gravedad siguiendo el desnivel natural del terreno o por bombeo a presión. En el caso de conductos que operan por gravedad, el trazo de la línea de gradiente hidráulico debe seguir el perfil del terreno para reducir los costos de construcción y las presiones resultantes. Si la presión es muy alta, se recomienda usar cajas rompedoras de presión. En terrenos accidentados o cuando habrá frecuentes operaciones de llenado y vaciado del conducto, se deben instalar válvulas automáticas de admisión y expulsión de aire en los sitios más elevados. Además, en las líneas de conducción deben existir instalaciones auxiliares válvulas de seccionamiento, de flotador y de altitud para poder aislar y drenar secciones de tubería con fines de prueba, inspección, limpieza, reparación y seguridad (Tormo & Blanca, 2014).

También CONAGUA menciona algunos aspectos a tomar en cuenta cuando se quiere diseñar o construir algún tramo de tubería.

- Las tuberías deben de tratar de seguir el perfil del terreno, esto por disponibilidad de acceso y para estar cerca del gradiente hidráulico para el cual se podrán mantener presiones no muy altas que generen una ruptura del sistema. Si la línea de la conducción se aleja de la línea de

gradiente hidráulico las presiones altas que se generan, se pueden eliminar con elementos auxiliares.

- Las tuberías se deben de instalar paralelas a una vía pública que permita el acceso abierto para facilitar la inspección de la conducción, poder detectar y corregir daños que sufran las tuberías.
- En líneas de conducción donde la topografía es muy irregular, en los sitios más elevados se deben de colocar válvulas para el ingreso y salida de aire. Cuando el tramo por lo contrario es muy regular (plano), se deben de colocar válvulas según la norma que indique cada país.
- En los puntos más bajos del trayecto se deben de colocar válvulas de purga para vaciar la tubería si hay una falla en otro trayecto superior, también para realizar limpieza.

4.1.1. Tipos de redes

La distribución del agua a los puntos de consumo se hace mediante redes de tuberías, que pueden tener funciones distintas, aunque su misión sea llevar agua a los usuarios. Se distinguen tres tipos. Redes ramificadas (Abiertas): Cuando el agua se distribuye en un solo sentido partiendo de una tubería principal, que se ramifica en otras tuberías generalmente llamadas secundarias y de estas a la vez se inician nuevas ramificaciones a las que de forma habitual se les llaman terciarias, estas son redes abiertas. Redes malladas: En este caso la distribución se efectúa en mallas cerradas, de forma que un punto de consumo puede recibir agua de ramales, donde en ocasiones, la circulación no es en el mismo sentido, sino que por equilibrio de presiones el agua acude al punto de consumo desde puntos que disponen de una presión más elevada. Redes mixtas: En ocasiones puede ser conveniente combinar los dos sistemas descritos, estableciendo una red en malla en el centro de una población y distribuir el agua a los barrios o zonas periféricos o extremos con una red ramificada (Álvares et al, 2018).

De estos tres tipos de redes de abastecimiento de agua las que resultan de interés para el proyecto son las redes ramificadas.

4.2. Esquema de una red

También CONAGUA menciona en manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento que una red se conforma de más partes las cuales se van a describir a continuación.

4.2.1. Tubería

Se le llama así al conjunto formado por los tubos (conductos de sección circular) y su técnica de unión o ensamble. Para fines de estudio se denomina tubería al conducto comprendido entre dos secciones transversales del mismo. La red de distribución está formada por un ligado de tubos que se unen en diversos puntos llamados nodos o uniones. De acuerdo con su función, la red de distribución puede dividirse en red primaria y red secundaria. A la tubería que lleva el agua desde el tanque de regulación hasta el punto donde inicia su distribución se le conoce como línea de alimentación y se considera parte de la red primaria. La división de la red de distribución en red primaria o secundaria dependerá del tamaño de la red y de los diámetros de las tuberías (CONAGUA, 2015).

Las tuberías deben tener la capacidad de soportar la presión estática y las sobrepresiones provocadas por golpe de ariete, además de transportar el caudal con diámetros interno adecuado, en el anexo 2 se muestran las características de presión y diámetros en tuberías de PVC.

4.2.2. Piezas especiales

Son todos aquellos accesorios que se utilizan para llevar a cabo ramificaciones, intersecciones, cambios de dirección, modificaciones de diámetro, uniones de tubería de otro material o diámetro y terminales de los conductos, entre otros. Se les llama cruceros a las piezas o conjuntos de accesorios especiales que, conectados a la tubería, forman deflexiones pronunciadas, cambios de diámetro, derivaciones y ramificaciones. También permiten el control del flujo cuando se colocan válvulas (CONAGUA, 2015).

a. Válvulas

Son accesorios que se utilizan para disminuir o evitar el flujo en la tubería. Pueden ser clasificadas de acuerdo con su función en dos categorías.

Las válvulas de aislamiento o seccionamiento son utilizadas para separar o cortar el flujo del resto del sistema de abastecimiento en ciertos tramos de tubería, bombas y dispositivos de control con el fin de revisarlos o repararlos. Usadas para regular el gasto o la presión, facilitar la entrada de aire o la salida de sedimentos o aire atrapados en el sistema.

De igual forma las válvulas se pueden dividir en dos grandes grupos con respecto a su forma de ejecución o manejo de estas.

Las válvulas manuales son aquellas que no llevan el automatismo incorporado en la válvula. Estas válvulas es necesario que se accionen directamente por una persona o por un motor (válvulas motorizadas). Las válvulas motorizadas pueden ser accionadas de forma automática o por un operador de forma directa (Moratiel, 2015).

- Válvulas de esfera. El elemento de cierre es una esfera o bola perforada. Se abre o cierra mediante el giro del eje unido a la esfera o bola perforada. Permite el paso del fluido cuando la perforación está alineada con la entrada y la salida de la válvula. Se utilizan en conducciones de pequeño diámetro.
- Válvula de compuerta. Se abre por el levantamiento de una compuerta que es perpendicular al eje de la tubería. No es adecuada para regular y debe estar o abierta o cerrada completamente. Se utiliza para poner o aislar tramos por su baja pérdida de carga cuando está totalmente abierta.
- Válvulas mariposa. Se abre o cierra por un disco que gira alrededor del eje perpendicular a la tubería. Se utiliza como regulación para tuberías superiores a 400mm de diámetro.
- Válvula de asiento. Se abre o se cierra por un disco que se asienta sobre los tabiques interiores del cuerpo de la válvula. Normalmente se utiliza para regular el caudal. Se suele utilizar también como válvula automática.
- Válvulas de acople rápido. Es una válvula de "todo o nada" que se utiliza para poner en marcha o aislar un elemento emisor.

Las válvulas automáticas llevan incorporadas un automatismo de apertura y cierre que actúa tras unas consignas programadas. No necesitan ser accionadas manualmente o mediante motor, aunque es posible que en algunas se presente esta opción. Dentro de estas podemos diferenciar la válvula hidráulica, que hace que se abra o cierre la válvula (de pistón, de asiento, de diafragma, entre otras) por medio de la señal hidráulica (diferencias de presión agua arriba y abajo de la válvula). Las electroválvulas hacen que se abra o cierre la válvula mediante una bobina solenoide (apertura electromagnética). Imprescindible este tipo de válvula para cualquier

programación de riego por tiempos, las tensiones más usuales de estas electroválvulas son de 12 y 24 V, aunque puede existir de 100 y 220V (Moratiel, 2015).

- Válvula sostenedora de presión: válvula hidráulica que mantiene constante la presión aguas arriba del punto de instalación. Es capaz de cerrar la válvula para mantener la presión.
- Válvulas de alivio de presión: válvulas que evitan un exceso de presión en el sistema, se suelen colocar en una derivación y por encima de un valor consigna (presión de tarado) se abre a la atmósfera para provocar la caída de presión. A este tipo de válvulas también se las denomina válvulas de seguridad.
- Válvulas volumétricas: son válvulas hidráulicas que incorporan un contador (tipo Wolfmann) que cierra la válvula en el momento que se ha alcanzado un determinado volumen. Son el elemento principal del automatismo de riego por volúmenes.
- Válvulas reguladoras de caudal: válvulas con una serie de mecanismos que regulan el caudal que pasa a través de ella y manteniendo el valor de consigna. Si no se alcanza el valor consigna se mantiene abierta. También se denominan válvulas limitadoras de caudal. Se utilizan, por ejemplo, para que el funcionamiento de las bombas trabaje a un rendimiento adecuado.
- Válvula de retención o antirretorno: tienen por objetivo cerrar el paso de un fluido en un sentido y dejar un paso libre en el contrario. También se llaman válvulas check, uniflujo o unidireccionales. Se suelen utilizar a la salida de una bomba en la impulsión y siempre que se tengan bombas en paralelo. Se debe tener en consideración en este tipo de válvulas la pérdida de carga que se produce cuando la válvula está totalmente abierta.
- Válvulas de aireación o ventosas: son válvulas que se instalan en las conducciones de agua a presión para evacuar aire o introducirlo. Cuando una tubería se está cargando es necesario evacuar el aire (para evitar sobre presiones en los puntos altos) y al contrario ocurre cuando se vacían para evitar depresiones que pueden provocar roturas en tuberías por aplastamiento. Se distinguen tres tipos: purgadores o monofuncionales, con función de eliminar cantidades pequeñas de aire; bifuncionales, evacuar aire y admitir aire; y trifuncionales, cumplen las funciones de las dos anteriores: purga, admisión y expulsión. Este tipo de válvulas se colocarán en los puntos más elevados de la conducción en tramos con pendiente y tramos largos horizontales, salidas y entradas de sifones invertidos, en la salida de los pozos aguas

arriba de la válvula de retención para evacuar durante el arranque el aire acumulado (Moratiel, 2015).

4.2.3. Tanques de distribución

Como su nombre indica, estos tanques se emplean en los sistemas de distribución para asegurar la cantidad de agua y la presión mínima exigida en la red de abastecimiento.

Atendiendo a su construcción, se distinguen dos tipos de tanques de distribución: superficiales y elevados. Los tanques de almacenamiento poseen una cantidad de agua que permite: regular el abastecimiento, suministrar agua para sofocar incendios y suministrar agua en caso de fallo en la red (Rebollo, 2017).

Es importante mencionar los tanques quiebra gradientes como lo menciona Tormo y Blanca en su informe estos en algunos casos se utilizan para sustituir los usos de los conjuntos de válvulas reguladoras disminuyendo los costos y funcionando de manera similar.

Los tanques de regularización sirven para transformar el régimen de entrada a la línea de conducción (que normalmente es constante) en el régimen de consumo de la red de distribución (que siempre es variable). Los tanques de regularización deben cumplir con normas de higiene y seguridad. El tanque regulador podrá omitirse sólo cuando la fuente de abastecimiento y la línea de conducción tengan capacidad para aportar el gasto máximo horario (Tormo & Blanca, 2014).

De igual forma Corchón en su documento menciona algunas funciones semejantes de los tanques reguladores o de almacenamiento en un sistema de abastamiento. Atender las variaciones del consumo de agua, almacenando ésta en los periodos en los cuales el suministro de agua al tanque es mayor que el consumo, y suministrar parte del caudal almacenado, en los periodos en los cuales el consumo es mayor que el suministro, para suplir así la deficiencia. También funciona para, mantener las presiones de servicio en la red de distribución y mantener almacenada cierta cantidad de agua para atender situaciones de emergencia como incendios, o interrupciones por daños en bocatoma, aducción, desarenador o conducción (Corchón, 2005).

En el diseño de tanques reguladores para un sistema de abastecimiento de agua es importante determinar los siguientes aspectos: Capacidad, localización de los tanques y tipo de tanque según el soporte (Corchón, 2005).

Es importante para todo proyecto que se va a realizar, calcular un periodo de diseño o un periodo de funcionamiento del proyecto, el AyA en su norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial habla acerca de periodos de diseño.

4.2.4. Medidores

Para la medición de flujo son empleados diversos tipos de dispositivo. Los hay de tipo turbina que son movidos por el mismo fluido, como algunos empleados en agua potable y los anemómetros o bien de desplazamiento positivo como algunos utilizados para gases. Existen muchos otros que funcionan con diversos principios físicos como magnetismo, efecto Doppler y ultrasonido, disipación de calor de alambres calentados, etcétera (Dondé, 2005).

Medidor de agua es un dispositivo que mide el volumen de agua usado por una casa o edificio o por parcela durante un tiempo determinado. Los medidores de agua son instalados y mantenidos por la municipalidad o dueño del proyecto y son usualmente ubicados dentro del sótano o pasillo de arrastre de un edificio o en la caja de medida afuera en la tierra (Dondé, 2005).

4.3. Obras de captación y toma

Para el cálculo del caudal a extraer de una toma de agua en río o quebrada, incluyendo el desarenador y para el del caudal de una captación de naciente: de 25 a Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados 14 50 años; el valor seleccionado dependerá del caudal del cuerpo de agua versus el caudal de diseño al plazo mayor posible según la capacidad del cuerpo de agua en la época de estiaje y las regulaciones que en esta materia estén determinadas en la legislación vigente (AyA, 2017).

Para justificar una obra de captación, la corriente debe ser de escurrimiento perenne. La obra debe estar compuesta de los elementos siguientes: Dispositivos de toma (orificios, tubos), dispositivos de control de excedencias (vertedores), dispositivos de limpia (rejillas, cámaras de

decantación), dispositivos de control (compuertas, válvulas de seccionamiento) y dispositivos de aforo o medición (tubo pitot, diferencial de presión con transmisión, parshall, etc.) (Tormo & Blanca, 2014).

También es importante mencionar que el sistema de captación y toma de agua de igual forma debe de llevar filtro esto para evitar que se taquee en los aspersores y demás, Martínez comenta alguno de los tipos de filtros que existen.

Los filtros de grava son muy utilizados cuando se dispone de aguas con altos niveles de partículas orgánicas e inorgánicas, ya que tienen la particularidad de atrapar y retener niveles importantes de contaminantes sin aumentar significativamente la pérdida de carga, debido a que el cuerpo filtrante (masa de grava) trabaja en tres dimensiones: superficie y profundidad. Los filtros de grava deben ser acompañados de filtros de malla debido a que no es fácil determinar el número mesh de la grava (tamaño de partículas en suspensión a eliminar) (Martínez, 2001).

Filtro de anillas: El agua es filtrada al pasar por los pequeños conductos formados entre dos anillas consecutivas. Dependiendo del número de ranuras de cada disco es la calidad del filtrado. Hay filtros de anillas equivalentes a mallas de 40, 80, 120, 140, 200 y 600 mesh. La forma de las ranuras no es uniforme, por lo tanto, los pequeños ductos que se forman tienen diferentes secciones y tamaños. Estos filtros tienen un efecto de filtrado tanto en superficie como en profundidad al igual como sucede con los filtros de gravas (Martínez, 2001).

Filtro de mallas: Este tipo de unidades es utilizado principalmente para filtrar aguas con contaminantes inorgánicos como arenas de distintas clases y moderadas cantidades de contaminantes orgánicos. No es recomendable su uso en aguas con alto contenido de residuos orgánicos ya que estos obstruyen rápidamente las cribas (aperturas de la malla) aumentando rápidamente la pérdida de carga más allá de los niveles aceptables.

Filtros autolimpiantes: En general existen tanto filtros de malla, como de anillas o de arena autolimpiantes, esto permite que cuando el filtro incrementa la suciedad retenida, se invierta el flujo de agua e ingrese de abajo hacia arriba separando la suciedad retenida en la malla.

Hidrociclón: Una forma de prolongar el período de limpieza es utilizar un Hidrociclón previo a los filtros de grava cuya finalidad es eliminar gran parte de los sólidos en suspensión. El hidrociclón trabaja muy bien reteniendo partículas de sólidos hasta el tamaño de arena fina (100 μm). Su principio de funcionamiento es hacer girar el agua en forma de un remolino. El punto de menor presión es el centro del remolino donde tienden a emigrar las partículas sólidas en suspensión. Estas se acumulan en un pequeño receptáculo ubicado en la parte inferior. El receptáculo debe ser limpiado en forma regular para evitar la colmatación de la unidad, el hidrociclón no sirve para eliminar partículas de naturaleza orgánica como bacterias, algas y materia orgánica dispersa ya que presentan una densidad específica menor a los sólidos en suspensión. Estas partículas logran pasar el dispositivo siendo necesario su eliminación en un filtro de grava, anillas o malla (Martínez, 2001).

4.4. Bombas

Se puede definir a una bomba como un dispositivo mecánico, cuya finalidad es proporcionar a un líquido, en este caso el agua, la energía suficiente para poder ser transportado mediante un conducto a presión, desde un punto de menor cota a uno de mayor cota (Palacios et al, 2005).

Tal sistema generalmente se compone de tanques de succión y de descarga. una bomba, tubería, válvulas, codos y tes. La energía requerida para mover una libra de líquido, a la tasa de flujo deseada, desde el tanque de succión hasta el tanque de descarga. se denomina cabeza total del sistema o, más comúnmente, cabeza del sistema, la bomba tiene que suministrar esta energía. En otras palabras, la cabeza total desarrollada por la bomba debe ser igual a la cabeza total requerida por el sistema, normalmente, la cabeza del sistema se divide en dos partes. La cabeza que tiende a mover el fluido desde el nivel del líquido en el tanque de succión hasta la bomba, la cual se denomina cabeza total de succión. Y la cabeza que tiende a mantener el flujo desde la bomba hasta el tanque de descarga, la cual se llama cabeza total de descarga. Ambas pueden subdividirse aún más en tres factores contribuyentes: cabeza estática, presión de superficie y cabeza de fricción (Palacios et al, 2005).

En acueducto las bombas que generalmente se usan son las denominadas bombas centrífugas, siendo la configuración general de ellas la siguiente:

Las bombas centrífugas tienen un elemento llamado el impulsor, que gira a una cierta rata (revoluciones por minutos); por efecto de la rotación del impulsor, se produce en el lado de la aspiración una presión inferior a la atmosférica, la cual actúa sobre el nivel del agua en la tanquilla de succión (es el caso más común), produciéndose el flujo del agua desde la tanquilla hacia la cámara de la bomba; una vez que el agua entra en la cámara o cuerpo de la bomba, el impulsor, en virtud de su rotación, le comunica al agua una gran carga de velocidad, que luego al salir de la bomba se convierte en energía potencial. La presión en la succión de la bomba es de primordial importancia en el correcto diseño de una estación de bombeo y es justamente en la succión donde se pueden presentar problemas graves si el diseño no es correcto. La altura de aspiración está limitada por las leyes físicas, en el sentido de que si en un punto cualquiera de la succión de la bomba, la presión desciende hasta un valor equivalente a la presión de vapor del líquido (agua) para la temperatura del sitio, se producen vacíos o burbujas de vapor y de gases disueltos, que arrastradas por el líquido a una zona de mayor presión, se condensan bruscamente dando lugar al fenómeno llamado cavitación, el cual origina inconvenientes (Palacios et al, 2005).

4.5. Tubería de aducción

Para una tubería por donde fluya agua cruda o agua que únicamente requiere desinfección: de 25 a 50 años; el valor seleccionado debe ser igual al utilizado en la toma o captación (AyA, 2017).

4.6. Planta potabilizadora

De acuerdo con las tendencias de crecimiento de la población, se deben elegir períodos de diseño más largos para crecimientos lentos y viceversa. En función del crecimiento se debe aplicar lo siguiente:

Crecimiento bajo (menos del 3% anual): de 20 a 25 años, dependerá del caudal del cuerpo de agua versus el caudal de diseño al plazo mayor y de las facilidades para ampliar la capacidad de la planta.

Crecimiento alto (igual o mayor al 3%): de 15 a 20 años, dependerá del caudal del cuerpo de agua versus el caudal de diseño al plazo mayor y de las facilidades para ampliar la capacidad de la planta.

El nivel de crecimiento se debe obtener del promedio de los últimos dos censos poblacionales y el ajuste correspondiente a la última proyección según datos del INEC sobre crecimiento de población. Se debe tomar en cuenta, la zonificación y proyecciones de crecimiento establecidas en el Plan Regulador de cada cantón (AyA, 2017).

4.7. Tanque de almacenamiento

Para los tanques el período es de 25 años, cuando los proyectos no son de desarrollo urbanístico, se debe dejar previsto en el terreno el espacio para construir otro tanque de dimensiones similares (AyA, 2017).

Los tanques se pueden diseñar por etapas cuando el volumen es mayor a 2000 m³

Tubería de conducción

Para líneas de tubería de conducción de agua tratada, el período es de 25 años.

Tubería de distribución

Para líneas de distribución el período es de 20 años.

4.8. Estaciones de bombeo

De la misma forma el AyA en su norma menciona acerca de las estaciones de bombeo y el periodo de funcionamiento (AyA, 2017).

Para estaciones de bombeo el período es de 20 años.

Para bombas y motores el período es de 10 a 15 años.

Para equipos de desinfección el período es de 5 años.

4.9. Golpe de ariete

El golpe de ariete puede definirse como “el fenómeno hidráulico ocasionado por rápidas fluctuaciones en el flujo debido a la interrupción o inicio súbitos del flujo en una tubería, produciendo una variación de presión por encima o debajo de la presión de operación y cambios bruscos en la velocidad del flujo” (Ortiz, 2006), puede producir efectos tales como ruido, vibraciones, falla en bombas, válvulas y otros accesorios, y ruptura de tuberías, en la Figura 2 se puede apreciar el efecto del golpe de ariete en diferentes instantes.

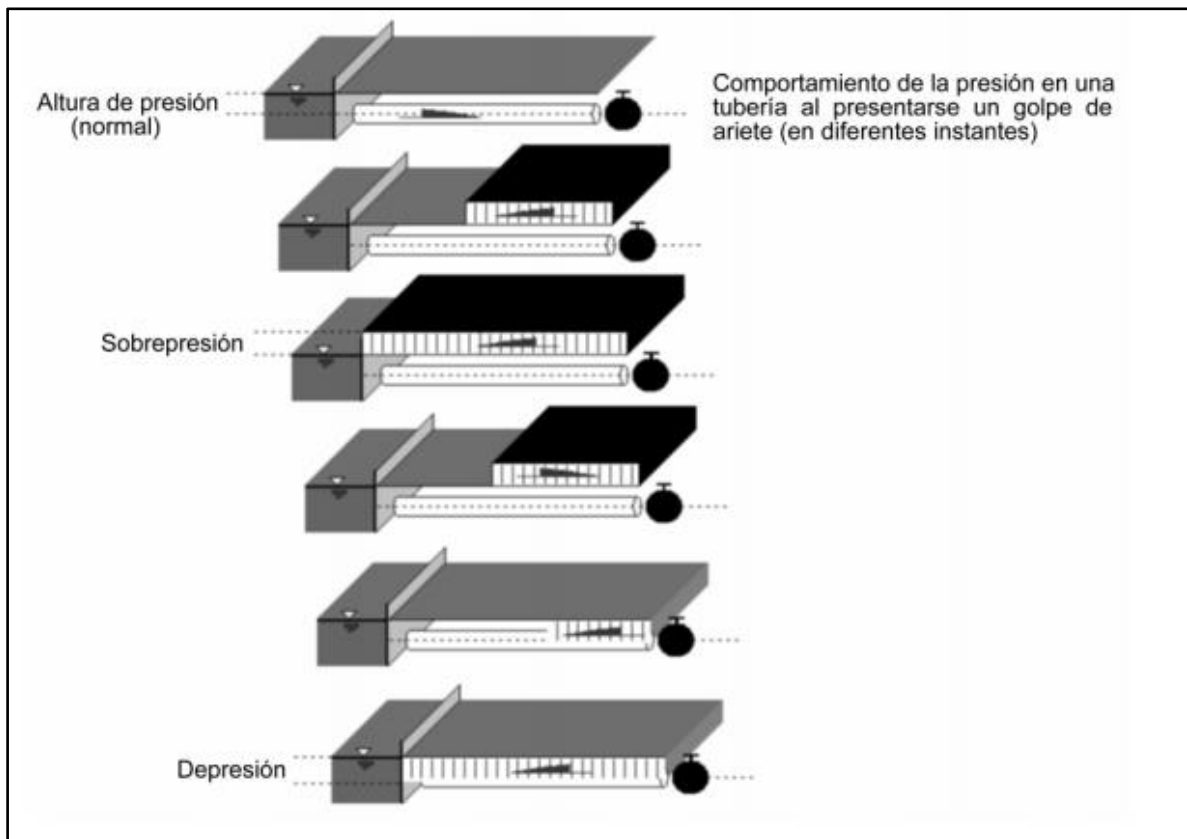


Figura 1. Golpe de ariete en distintos instantes.

Según (AyA, 2017), las tuberías se deben dimensionar aplicando la fórmula de Hazen-Williams. Los coeficientes de Hazen-Williams (C) se muestran en el siguiente cuadro, estos van a depender del material de la tubería y en algunos casos el tiempo o años de uso que presenta el sistema.

Cuadro 1. Coeficientes Hazen-Williams para diferentes materiales

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

Fuente: (AyA, 2017)

4.10. Velocidad

Otra variable para considerar en el cálculo hidráulico, como lo menciona Trapote, es la velocidad máxima admisible de circulación del agua. La determinación de esta velocidad debe ser el resultado de un ejercicio de optimización económica que minimice los costes totales de la tubería, considerando tanto los costes de la propia instalación como los asociados a las pérdidas de carga. A este respecto, y a modo de ejemplo, pueden citarse dos casos:

Una impulsión, en la que para bombear un caudal dado se aumenta la velocidad admisible para disminuir el diámetro (menores costes de instalación), pero se incrementan las pérdidas de carga (elevándose, en consecuencia, los costes energéticos), existiendo, por tanto, una velocidad que hace mínima la suma de ambos costes (Trapote, 2014).

Una red de distribución mallada, en la que las pérdidas de carga admisibles estén fijadas previamente. Existen numerosas combinaciones de diámetros en cada tramo (y, en consecuencia, diferentes velocidades de circulación) para lograr dicho objetivo, de manera que sólo una corresponderá al coste mínimo de la red (Trapote, 2014).

Un factor limitativo más para la fijación de la velocidad máxima de circulación del agua sería que el valor de las sobrepresiones derivadas de los posibles golpes de ariete no sea excesivo. O también, por ejemplo, el garantizar que no exista riesgo de ataque físico a la tubería, aspecto éste especialmente importante en las tuberías de hormigón o en las metálicas revestidas con mortero de cemento (fundición o acero). En estos tipos de tuberías se recomienda no exceder velocidades de 3 m/s, a fin de evitar erosiones en el material de la tubería o en el del revestimiento. Considerando todo lo anteriormente expuesto, los valores normales para las velocidades máximas del agua en tuberías en presión deben oscilar entre 1,5 m/s y, como máximo, 2,5 m/s (habitualmente, a mayor diámetro, mayor velocidad admisible). No obstante, en instalaciones singulares, como las tuberías forzadas de las centrales hidroeléctricas, pueden admitirse velocidades muy superiores a las anteriores (de hasta 6 y 7 m/s) (Trapote, 2014).

Según (AyA, 2017) la velocidad máxima en redes de distribución es de 3 m/s, en líneas de conducción o aducción es 5 m/s y la mínima de 0,6 m/s, sin embargo, la velocidad recomendada de diseño o tener dentro de la red es de 1,5 m/s.

4.11. Modelación hidráulica

Una modelación de un sistema de distribución de aguas implica utilizar un modelo matemático e informativo para predecir su funcionamiento, así como los valores de caudales y presiones en cada uno de los elementos que lo conforman (Benjarano, 2013).

Con una modelación es viable plantear diversos escenarios: evaluar la red en su estado actual (sin haberle realizado cambios al diseño original) o planteando perfeccionamientos al sistema para optimizar su funcionamiento (realizarle cambios al diseño original). Otro de los usos que se le confieren a una modelación de SDA es la detección de fallas o anomalías en el funcionamiento de la red de conducción o accesorios; así como para crear las maneras de administrar el agua cuando hay periodos de sequía (Morelos et al, 2016).

Después de haber definido los elementos básicos y la topología de la red a modelar, se puede realizar un mayor refinamiento del modelo dependiendo del propósito o finalidad de este. Existen varios tipos de modelaciones que se pueden desarrollar dependiendo de lo que el modelador quiera observar o predecir, sin embargo, los dos tipos básicos son se muestran el Cuadro 2.

Cuadro 2. Ventajas y desventajas de los tipos de modelación

Tipo de modelación	Aplicaciones	Ventajas	Desventajas
Estática	<p>La modelación estática calcula el estado del sistema (flujos, presiones, condiciones de funcionamiento de bombas, posiciones de válvulas, etc.) en un determinado momento. Este tipo de análisis muchas veces es comparado con el tomar una fotografía del funcionamiento del SDA. Por lo que estas capturas son tomadas en los escenarios de funcionamiento para los cuales se tiene interés de analizar, como instantes de caudal mínimo nocturno, de máxima demanda (horaria, diaria).</p>	<p>Permite al modelador predecir la respuesta ante los diferentes escenarios previamente mencionados. - La modelación estática es la base para otro tipo de modelaciones.</p>	<p>En la realidad, los sistemas de distribución de agua raramente pueden encontrarse en un estado estático. Por lo que un modelo estático es más que todo una construcción matemática. Ya que las demandas y los niveles de los tanques de almacenamiento varían constantemente y las bombas rutinariamente cumplen ciclos de apagado y encendido</p>

Continuación del cuadro 2.

	Aplicaciones	Ventajas	Desventajas
Periodo extendido	La modelación en período extendido es una técnica de modelación de SDA donde una serie de modelaciones estáticas son realizadas en intervalos específicos (una hora, varias horas). Se modela la forma en que el sistema cambia en respuesta al cambio de las demandas y las condiciones de operación. Además de presentar resultados de presiones y caudales en el sistema, también se obtienen resultados de variaciones de nivel de los tanques de almacenamiento, la respuesta de las bombas y válvulas ante los cambios del sistema y el comportamiento de variables de operación, ya que se puede modelar la calidad de agua del sistema (agentes contaminantes, bacterias, cloro residual, edad del agua, entre otros).	El período de modelación puede ser tan extenso como el modelador desee. Depende de lo que se quiera analizar. - Da gran cantidad de información sobre las características del sistema y cómo el sistema responde ante las variaciones de demanda y situaciones de emergencia. -Gran herramienta para la operación de un SDA y de detección d	Se requiere de gran cantidad de información y datos para la construcción del modelo y posterior calibración.

Fuente: (Pérez, 2016)

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, en el cuadro 3, se detalla la información respectiva a cada tipo de modelación según la aplicación dada (Peñaranda, 2021).

Cuadro 3. Diferentes modelos de softwares

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: (Peñaranda, 2021)

5. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el proyecto se dividió el trabajo realizado en III fases las cuales se mencionan en el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Fases de la metodología

Fases	Pasos de la metodología	Acciones para conseguir los pasos
I	Recopilación de datos del proyecto	Estudio de antecedentes, visita al campo, levantamiento topográfico, aforo de la toma de agua, capacidad de tanques y reservorios.
II	Situación actual de modelación	Conocer los SDR, diámetros de tuberías, dotaciones con caudal y presión respectivo y ubicaciones críticas.
III	Generar plan manejo de la red	Tunos de riego para cada red, cumplir con los requerimientos de los parcelarios, mejoras a la red

Recursos o programas utilizados

- Software especializado para análisis de agrimensura y obras civiles: AutoCAD Civil 3D.
- Software especializado para análisis de sistemas de distribución de agua y fluidos no compresibles con flujo a presión: EPANET 2.2
- Software especializado en Sistemas de Información Geográfica (SIG): QGIS 3.16.4
- Documentación del proyecto proporcionada por el SENARA.
- Visitas al área de estudio y reuniones con el cliente (SENARA).
- Google Earth.

5.1. Fase I: Recopilación de datos

5.1.1. Estudio de antecedentes

Primeramente, se realizó una visita a las oficinas de SENARA donde se logró obtener los antecedentes del proyecto y todas las diferentes uniones o cambios que ha tenido el proyecto a lo largo de los años, después de esto se obtuvo información de los diferentes diámetros y SDR de la tubería que está construida y el tramo que se desea modelar para una futura construcción. También se comentó acerca de la necesidad de realizar el proyecto y los problema que actualmente están presentado los clientes y las necesidades de hacer un plan de mejoramiento de la operación de la red para cumplir con las necesidades de cada productor o parcelario.

Se obtuvo por parte del SENARA, un registro de los diferentes parcelarios a los que se le entregan el servicio de agua, con la respectiva dotación correspondiente para cada cliente. El SENARA cuenta con planos constructivos de los dos proyectos que actualmente operan en las comunidades.

5.1.2. Visita a campo

Se realizó una visita al lugar para observar todos los elementos del sistema de abastecimiento, desde la captación, tubería de conducción, reservorios de almacenamiento, tanques de almacenamiento y tubería de distribución. La visita se realizó con el objetivo de conocer el estado de un tramo de la tubería y establecer las medidas a considerar para llevar a cabo el proyecto y algunos cambios necesario que se deben de realizar en el levantamiento topográfico.

5.1.3. Levantamiento topográfico

Como se mencionó anteriormente el proyecto ya está construido y la parte en la que se requiere diseñar el paso de la nueva tubería ya se tiene el levantamiento y los puntos por donde pasa la tubería, con respecto a algunos cambios que se presentaron, fue necesario realizar tomas de puntos con un dispositivo GPS Garmin, puntos de la tubería que fueron desplazados o transportado a diferentes ubicaciones debido a los derrumbes provocados por la tormenta Nate y que se tuvo que reubicar la tubería en diferentes ubicaciones diferentes al diseño original. Ya con los puntos obtenidos, se agregaron en el Qgis esto más adelante se menciona en la Fase III de la metodología.

5.1.4. Aforo

Con respecto a la medición del caudal disponible en la toma de agua, este en los informes de SENARA acerca de los aforos previamente realizados se pudo apreciar que el caudal que transportaba el río es mucho mayor al caudal necesario para el funcionamiento de la red, de igual forma el cliente expresó que dicho río tanto en verano como en invierno transporta mayor cantidad de agua o caudal del que se necesita para el proyecto.

La medición de los tanques quiebra gradientes y reservorios para almacenar el agua y utilizarla en tiempo cuando cierran las válvulas de paso, se obtuvieron con la ayuda del SENARA ya que el diseño de construcción contaba con los datos del volumen de cada reservorio y tanque de almacenamiento.

5.2. Fase II: Modelación

Para conocer la cantidad de parcelarios que se benefician con el proyecto fue necesario solicitar los informes realizados por el SENARA y además consultar acerca de los nuevos parcelarios que se agregaron después de la construcción de la red de distribución, después de esto se calculó el caudal necesario para suplir las necesidades de cada parcelario, la demanda o concesión de cada parcelario fue calculada utilizando el método propuesto por el Minaet donde la evapotranspiración se calcula de acuerdo con una altura, para nuestro caso se utilizó la altura de las fincas más bajas a la fuente 300 msnm y como kc de cultivo se utiliza el valor de 0.80 que es para el pasto.

Con respecto a la proyección de demanda hídrica, esta se tomó en cuenta la demanda actual sin ninguna proyección esto debido a que la red está funcionando actualmente con la máxima capacidad hidráulica, lo que lleva a no poder dar más dotaciones de las que tiene actualmente el proyecto. Si se desea aumentar el número de personas beneficiadas del proyecto se debería bajar la dotación actual del proyecto lo que llevaría una desconformidad de los clientes que están actualmente en el proyecto

Mediante la recopilación de información primordial del acueducto y el uso del software QGis, se desarrolló 6 capas con información relevante de todos los elementos de la red, se realizaron 6 capas con el fin de manejar con mayor facilidad la información del sector en estudio, las capas se

dividieron por diámetro de la tubería, SDR, ubicación de válvulas, tubería principal, tanques de almacenamiento y reservorios, toma de agua y tomas o parcelarios.

La modelación del sistema de abastecimiento se llevó a cabo mediante un software para dicha labor, el cual fue EPANET 2.2. y AutoCAD 2018.

Primeramente, se dibujó en AutoCAD la red de abastecimiento de ganado y riego, basado en la ubicación de parcelarios o usuarios, utilizando las coordenadas georreferenciadas y cotas de los puntos del levantamiento topográfico. Después de esto, se exportó el dibujo al software de modelación EPANET para ingresar los datos de entrada correspondientes al modelo, así como la información de los elementos básicos de la red como los tanques de almacenamiento, reservorios y algunas válvulas, atribuyendo los valores de cotas, coordenadas y dimensiones de estos. Además, se ingresó las especificaciones de las tuberías que conforman la red, basado en los informes suministrados por el SENARA.

Una vez ya dibujado la red con sus respectivas características se procedió a realizar turnos de riego ya que el proyecto funciona por 3 turnos de riego, el primer sector del proyecto funciona de 6:00am a 6:00pm el segundo sector funciona de 6:00pm a 6:am de lunes a viernes y por último el sector tres funciona los sábados y domingos para un total de 36horas dentro de los dos días, debido a esta situación se debía crear patrones dentro de la modelación de Epanet, para conocer las presiones y velocidades en cada uno de los turnos y tiempos de rego, de cada uno de los días de la semana.

5.3. Fase III: Generar plan de manejo:

Una vez realizada la modelación se obtuvo datos de velocidades y presiones, comparando dichos resultados con las normas que establece el SENARA se puede observar cuales puntos o líneas de tubería se deben de hacer las modificaciones requeridas para que el sistema trabaje dentro de los parámetros establecidos por el SENARA y la norma técnica de construcción de AyaA.

Una vez analizado estos puntos se procedió a analizar cada uno de las tomas y dotaciones de los parcelarios para ver si cumplen con los requerimientos necesarios para abastecer a los

parcelarios. Cuando se identificó algún punto que no cumplía con las recomendaciones necesarias o normas de diseño se mencionó para considerarlo y poder implementar esas mejoras dentro de la red.

Después de esto se realizó el informe al SENARA especificando el tiempo y caudal de apertura para las diferentes válvulas, y si era necesario realizar alguna modificación en la red actual o si más bien los problemas de presiones y caudales que presenta la red era meramente por el uso indebido o ilegal de la red de distribución, conducción y almacenamiento.

6. RESULTADOS

6.1. Ubicación de la zona del proyecto

El área de interés o donde se localiza el proyecto es en el poblado de Guacimal, Los Ángeles, distrito de Guacimal, Sardinal en el cantón central en la provincia de Puntarenas como se puede ver en la siguiente figura.

Específicamente, la totalidad del sistema de riego se encuentra en el sector comprendido entre las coordenadas CRTM05, 406700 y 408500 de Latitud Norte y las coordenadas 1125500 y 1124000 de Longitud Oeste, coordenadas CRTM05.

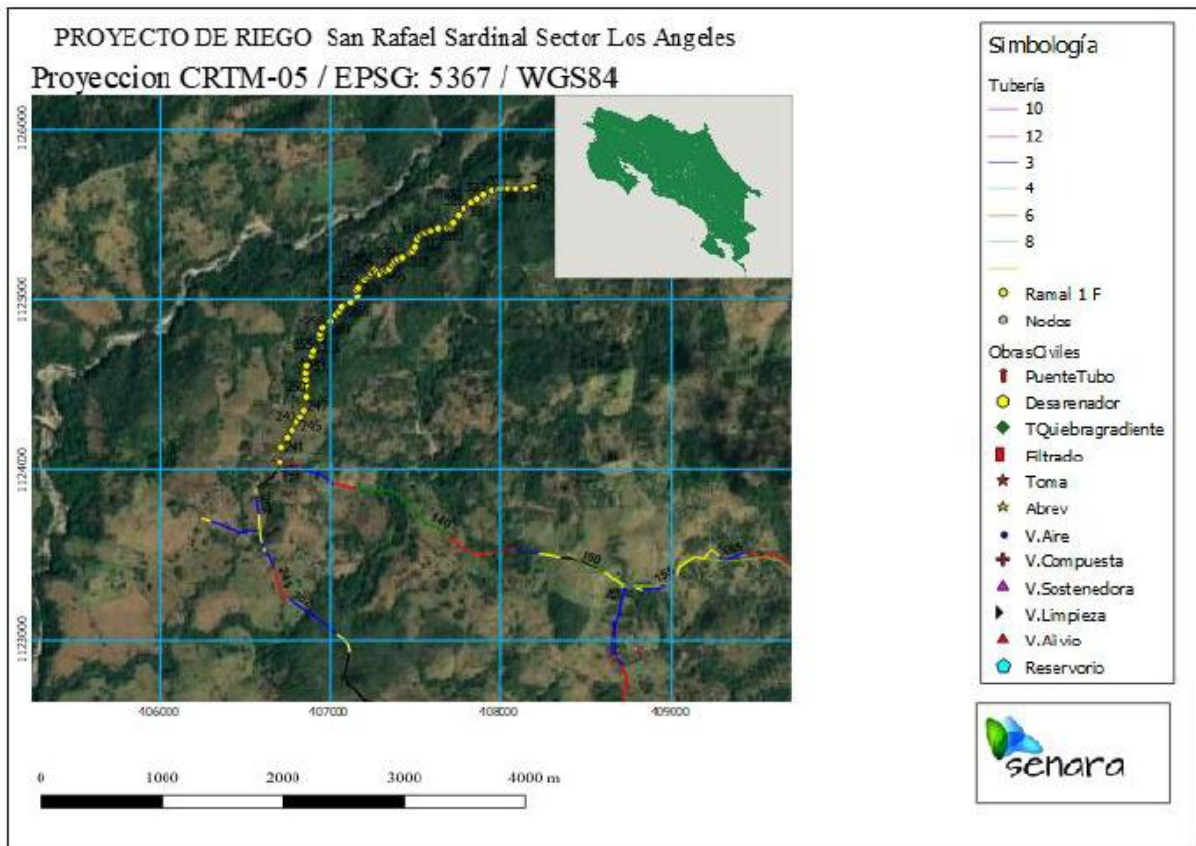


Figura 1. Mapa de la zona de estudio.

Fuente (SENARA, 2021).

6.2. Descripción de la red

Como se mencionó anteriormente el proyecto inicial primeramente se desarrolló para satisfacer las necesidades del poblado de sardinal como se muestra en la siguiente figura, la cual es solamente el tramo inicial o el primer tramo de la red con sus respectivos diámetro de tubería.

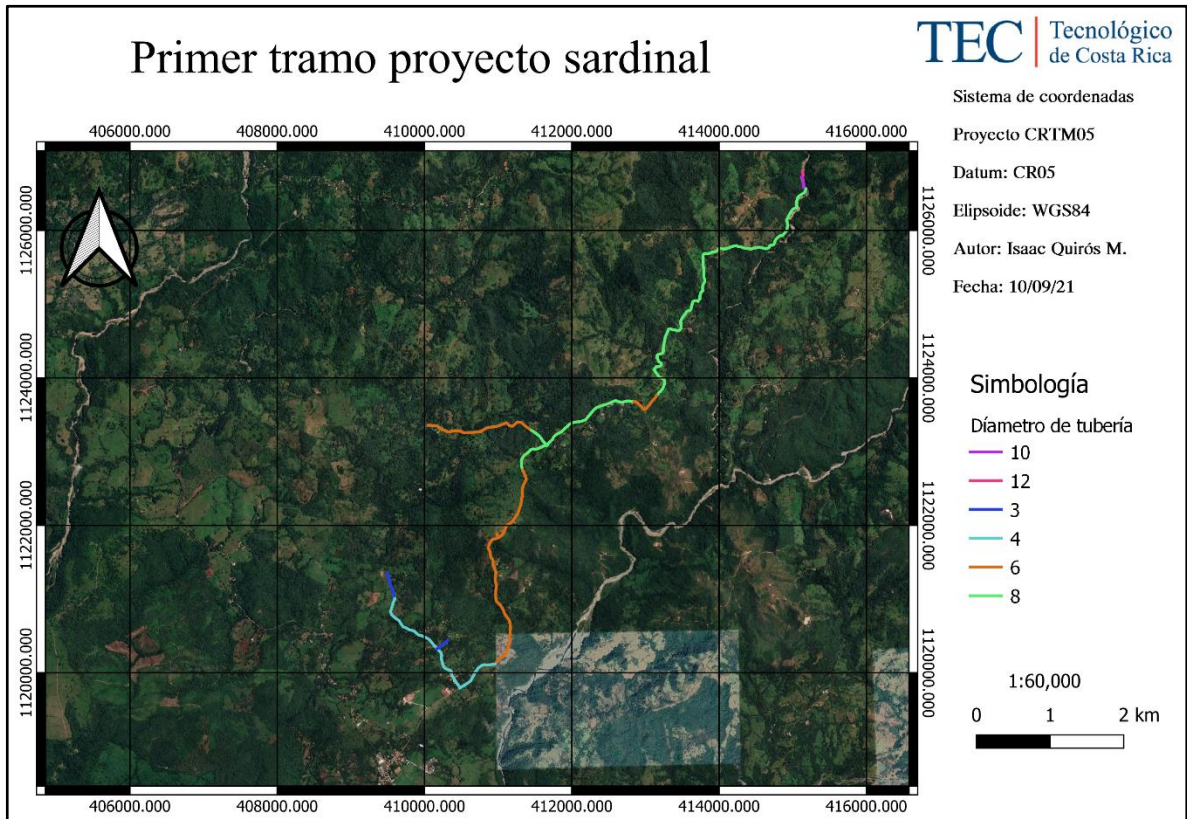


Figura 2. Tramo inicial proyecto sardinal

Después de esta construcción, paralelamente se llevó a cabo otro proyecto de la comunidad de Aranjuez la cual por problemas legales que se mencionaron anteriormente se dejó de construir debido a falta de permisos legales para tomar agua del río de Aranjuez, lo cual solicitaron al proyecto de Guacimal que les dotaran de un caudal para utilizar la tubería que ya se encontraba construida en algunos tramos del proyecto. Lo que originó que el proyecto inicial se hiciera más extenso como se puede ver en la siguiente figura.

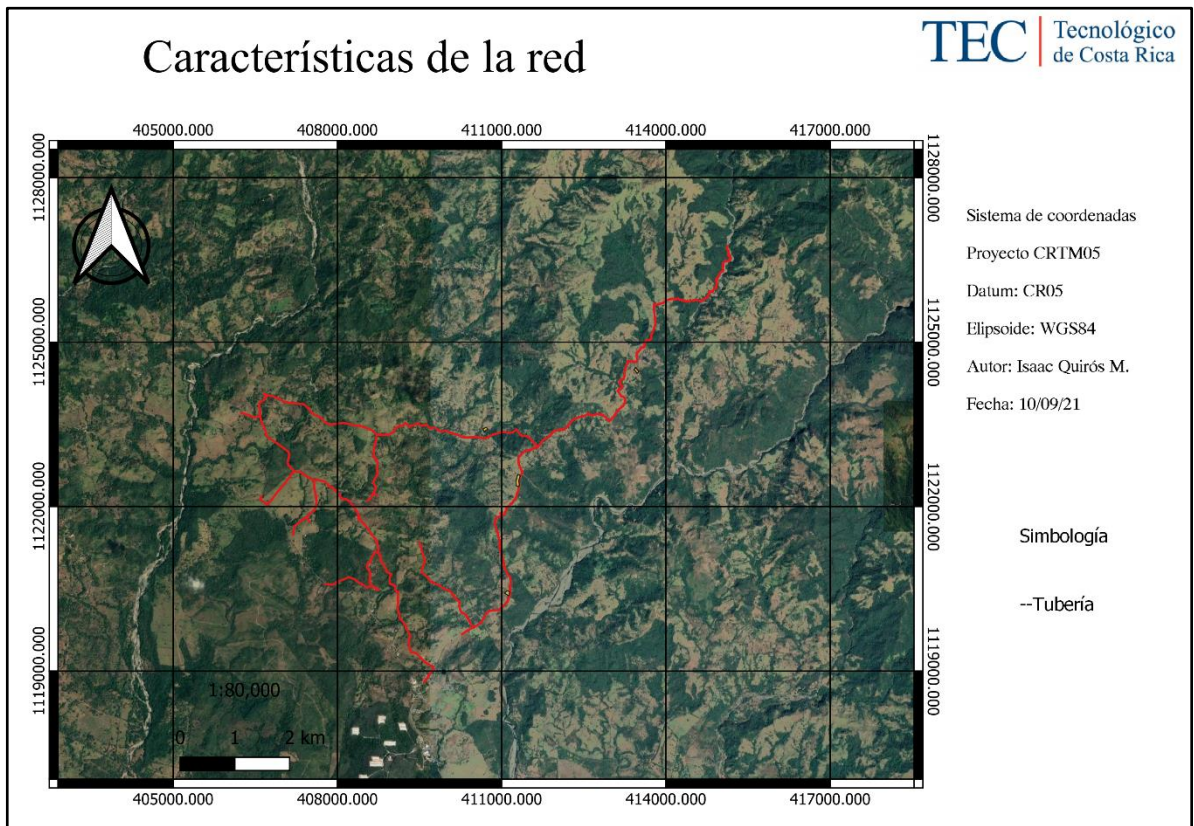


Figura 3. Proyecto con la primera anexión

Después de esta primera anexión algunas personas de la comunidad de Aranjuez solicitaron la petición de poder construir y dotar de agua algunas parcelas que se encontraban sin agua para su desarrollo lo que se llevó a cabo la construcción de un tercer tramo el cual se representa con los puntos amarillos en la siguiente figura.

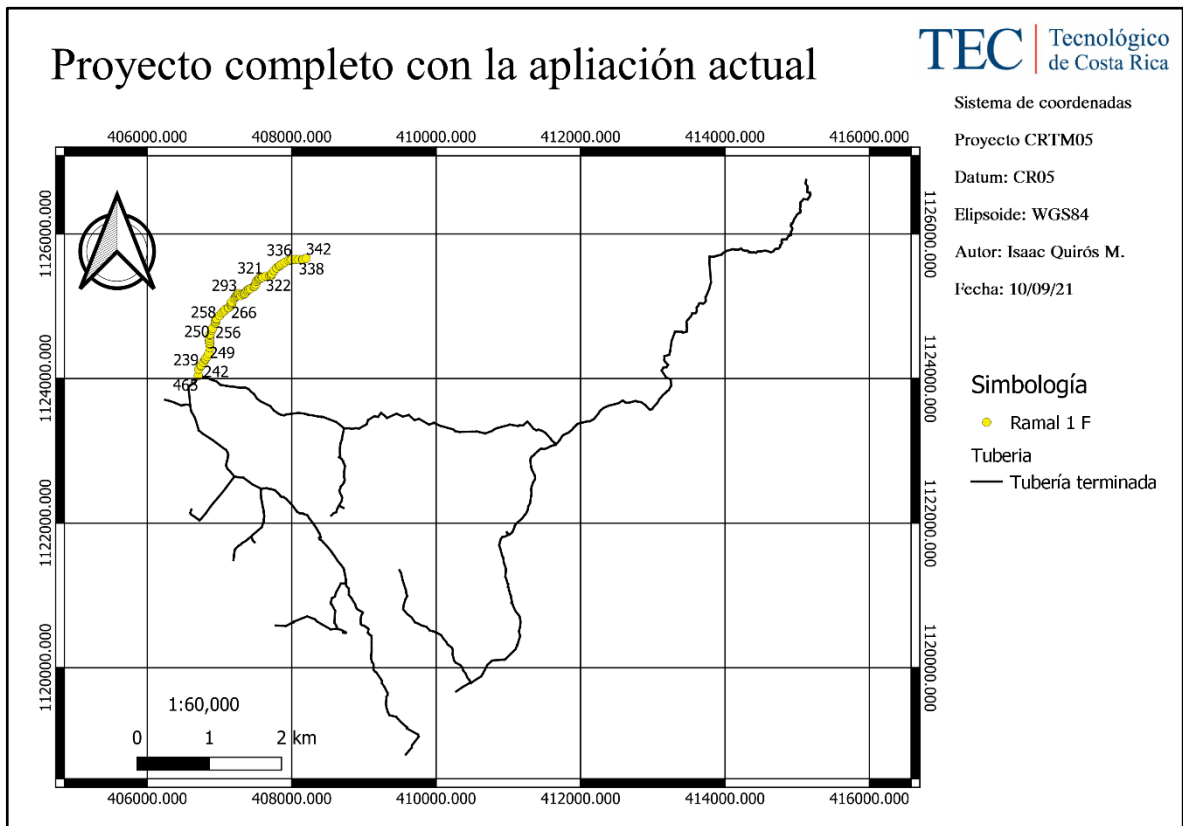


Figura 4. Último tramo ampliado del proyecto original

Una vez conociendo las características del trazo de la red o del proyecto y llevando a cabo visitas a campo para conocer más a fondo el proyecto se puede comenzar a mostrar los resultados o información inicial para la modelación de la red.

6.3. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se obtuvo mediante la ayuda de SENARA ya que facilitaron los puntos y coordenadas y elevaciones del total de puntos que se encuentra en la red ver Anexo 1, de igual manera se solicitó la información acerca de cuáles puntos son tomas, válvulas, quiebra gradientes o alguna otra estructura, después de esto se generó el resultado del mapa como se puede ver en la siguiente figura.

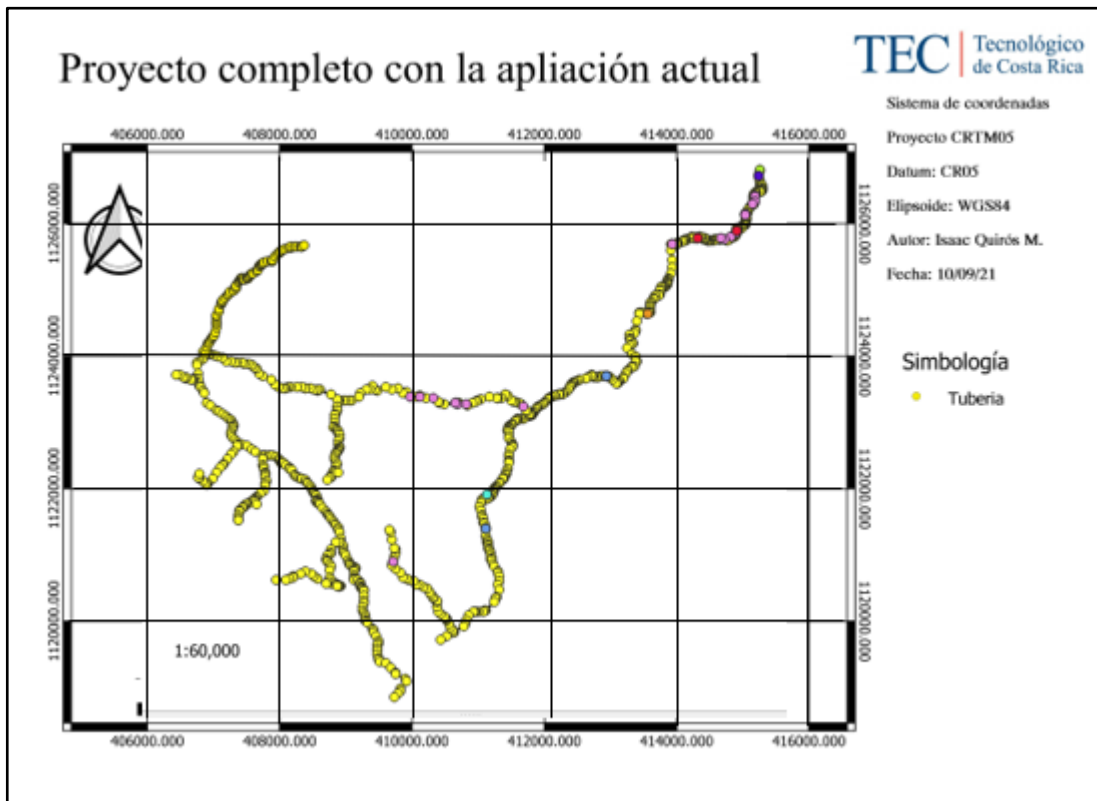


Figura 5. Puntos del levantamiento topográfico

Después del levantamiento topográfico también fue necesario conocer acerca de los reservorios que se encuentran en el proyecto con el fin de suministrar agua en los horarios de más demanda del proyecto, los 3 reservorios que se encuentran en el proyecto tienen la misma forma (tranco de pirámide de base cuadrada), pero con distintos volúmenes de agua, esta información se puede observar de mejor manera en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Reservorios con su respectivo volumen y área.

Reservorio	Volumen (m3)	Área (m2)
1	2791.5	1594.1
2	2510.2	1235.3
3	1033.6	910.4

Una vez conociendo los puntos del levantamiento y los reservorios del proyecto fue necesario mediante los programas de Qgis y AutoCAD ir dibujando y agregando cada una de las obras civiles, tuberías y válvulas para más adelante poder realizar la modelación de la red y observar las consideraciones necesarias.

6.4. Situación actual del proyecto

Con respecto a los diámetros de tuberías fue necesario corroborar y modificar los diámetros para poder realizar una modelación exacta o que se asemeje de la mejor manera a la situación actual del proyecto, en la siguiente figura se puede apreciar los distintos diámetros de la tubería a lo largo del proyecto.

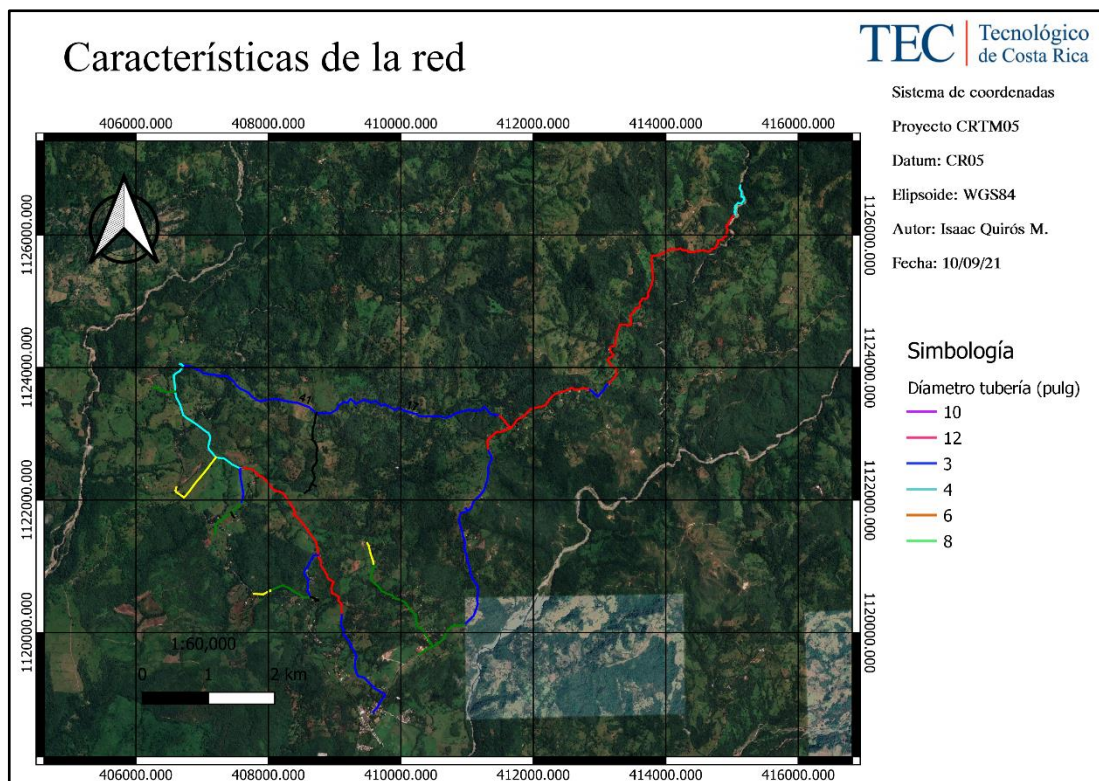


Figura 6. Diámetro de la tubería a lo largo de la red

6.5. Obras de concreto

Otra información importante y que de igual forma es indispensable que se encuentre en la modelación para valorar la operación del sistema son las obras de concreto o estructuras hidráulicas que ayuda a la conducción y uso de la red, estas para que se puedan apreciar de una mejor manera se realizaron en Qgis, estas obras a lo largo de la tubería las podemos apreciar en la siguiente figura.

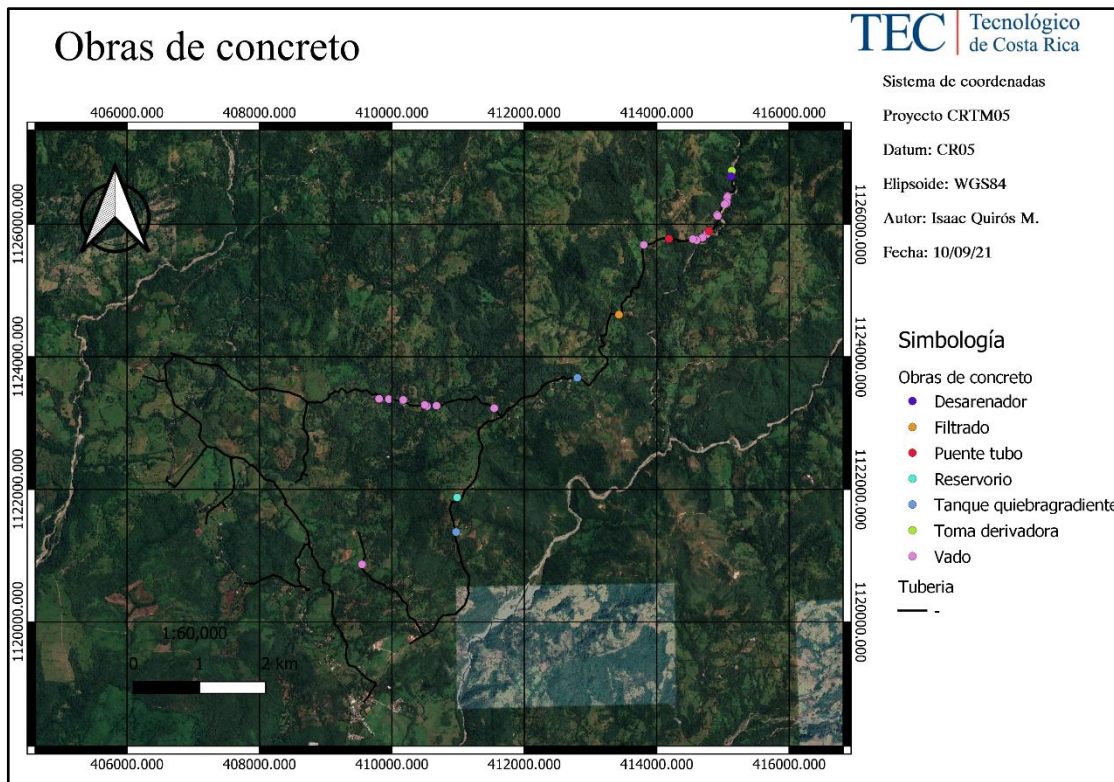


Figura 7. Obras de concreto a lo largo de la red

6.6. Obras civiles del proyecto

De igual forma las obras de concreto y las tuberías no se mantienen por si solas es necesario realizar obras civiles, ya sea para puentes tubos, toma de parcela, válvulas reservorios, etc. Estas sirven para el buen funcionamiento del proyecto a lo largo de la red y para poder localizar puntos en los que se podrían generar problema en algunos casos, de igual forma se representaron en un mapa de Qgis para que se pueda apreciar de una manera general las condiciones y obras civiles del proyecto, estas están representadas en la siguiente figura.

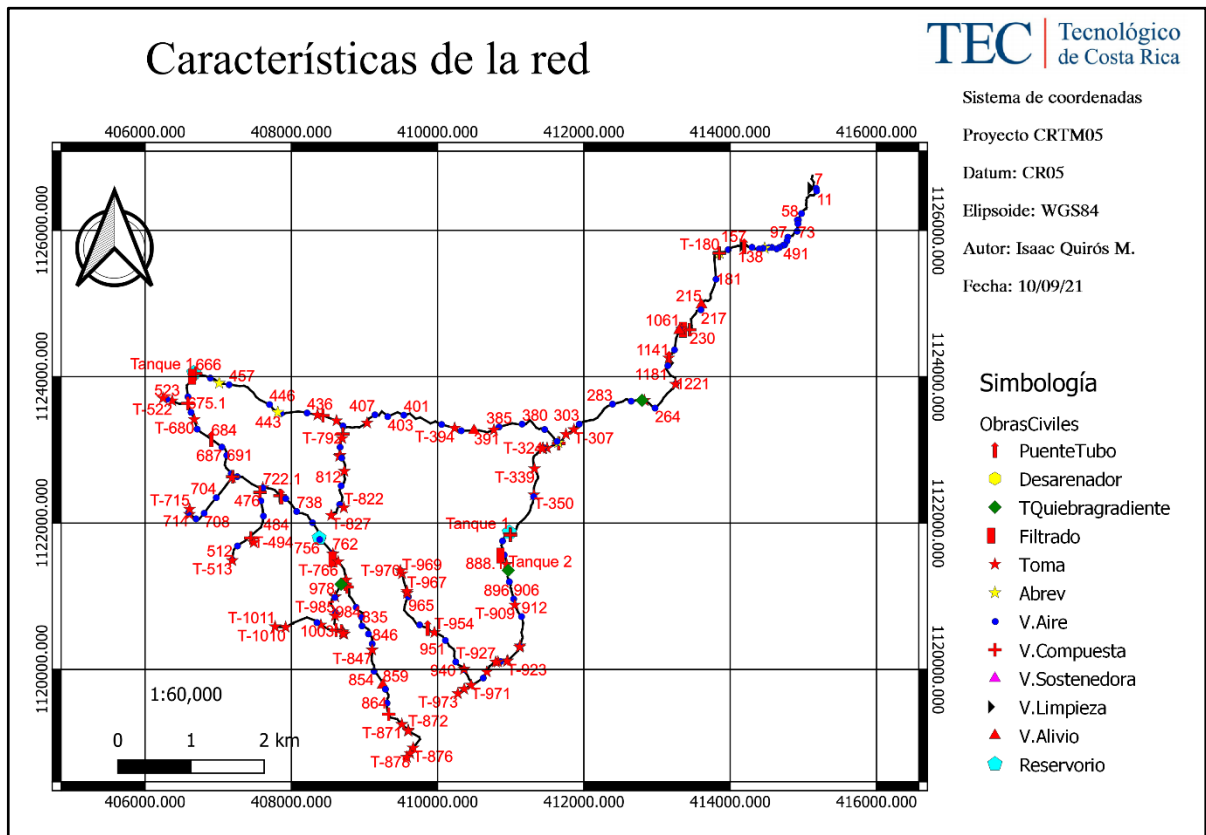


Figura 8. Obras civiles del proyecto

6.7. Diámetros de la tubería

Una vez ya obtenido los datos de caudal necesario para cada parcelario y para el proyecto en general, el SENARA facilitó los datos de los distintos diámetros de tubería a lo largo de la red, de igual forma conociendo los puntos del levantamiento, diámetros de tubería y el único factor necesario o faltante para realizar la modelación es el SDR el cual representa la presión que soporta la tubería en el tramo correspondiente que se puede apreciar en la siguiente figura la cual simplifica los distintos SDR usados en el proyecto a lo largo de la red.

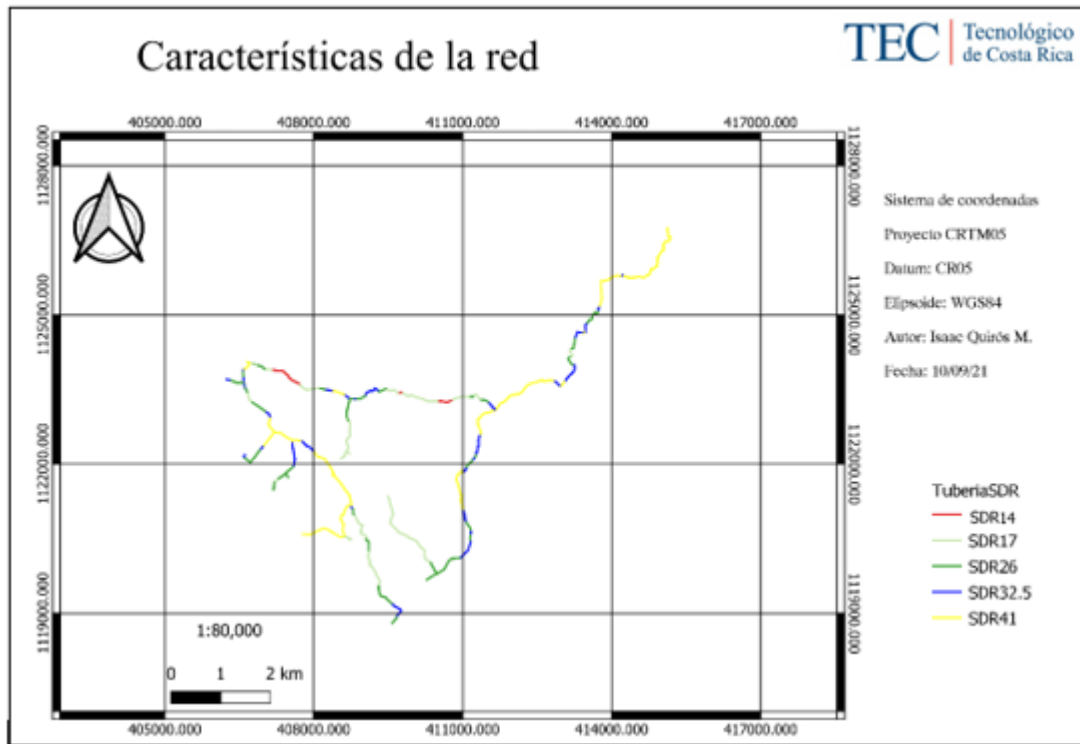


Figura 8. SDR de la tubería a lo largo de la red

6.8. Modelación inicial

Después de conocer todos los datos necesarios, como estructuras, válvulas tuberías, topografía, SDR, volúmenes de tanques, ubicaciones de válvulas se procedió a realizar la modelación de la red, la cual consistió en ir modelando ramal por ramal hasta poder unificar toda la red y que funcione lo más parecido a la realidad que es por sectores y varios ramales al mismo tiempo. Esta primera modelación se realizó sin turnos de riego únicamente para cargar los datos principales de la red como altitud, coordenadas, demanda de los parcelarios, SDR de la tubería en los distintos tramos, reservorios, tanques quebra gradientes, válvulas etc. El resultado de esta primera parte de la modelación se puede apreciar en la siguiente figura.

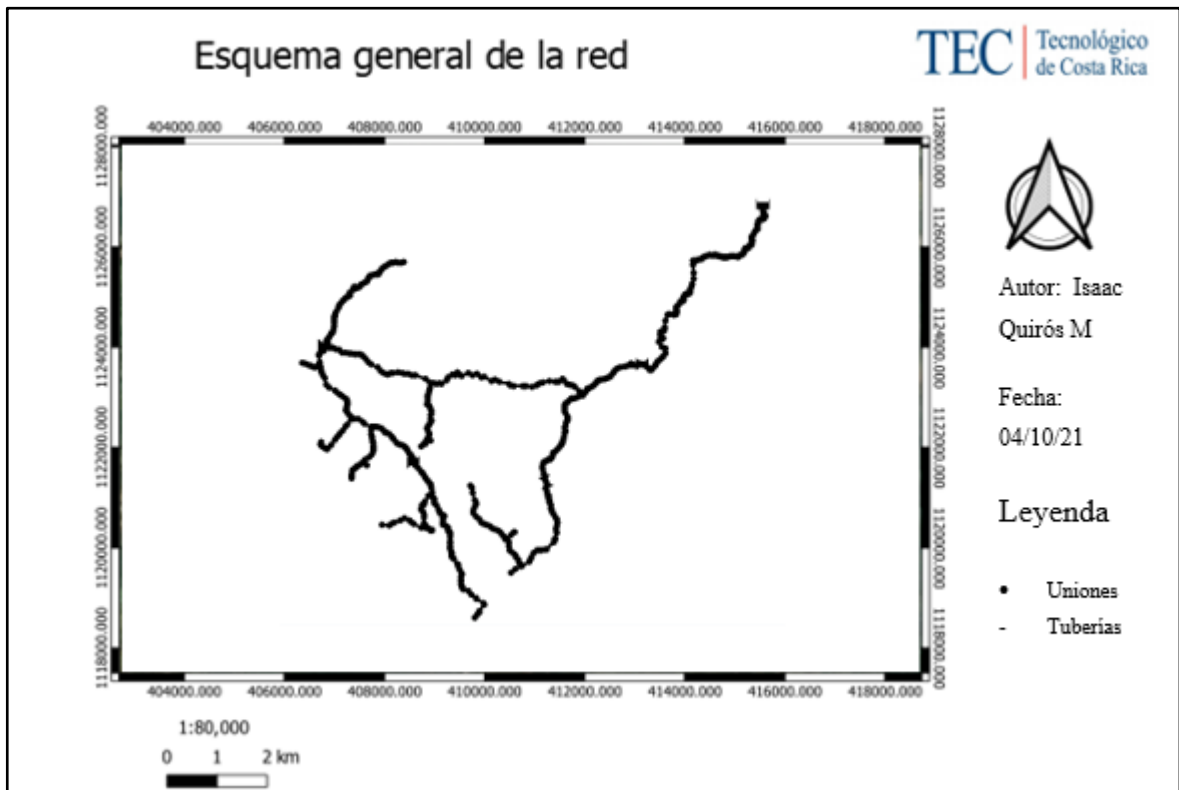


Figura 9. Modelación inicial del proyecto

6.9. Patrones de riego

Una vez realizada esta modelación se comenzó a agregar los turnos de riego actuales para cada uno de los ramales o sectores de riego, como se mencionó anteriormente el primer sector trabaja de 6:00am hasta las 6:00pm el segundo sector trabaja de 6:00pm a 6:00am y por último el sector que se agregó o anexo al final trabaja sábados y domingos, esto se agregó al Epanet.

Como se puede ver en la siguiente figura los resultados de cada uno de estos tiempos de riego se fue agregando como patrones y cada uno con su tiempo respectivo.

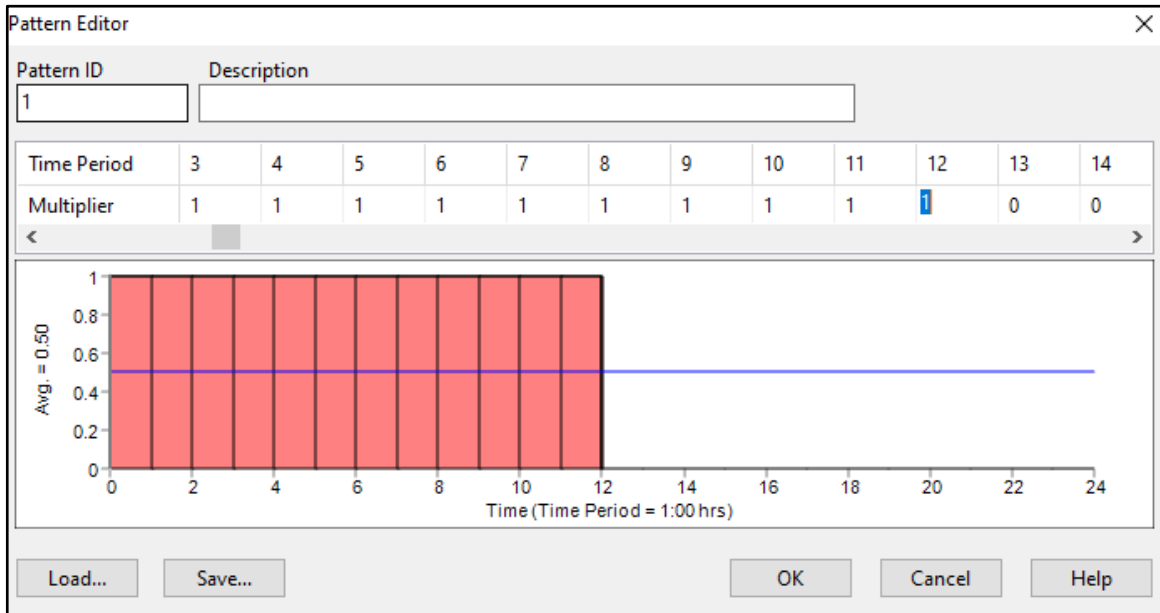


Figura 10. Patrón 1 tiempo de riego

De la misma manera se puede ver los resultados del patrón 2 como se puede observar en la siguiente figura, es necesario mencionar que conforme se iban agregando patrones de riego, a cada cliente o parcelario se le debía agregar su respectivo patrón dentro de la modelación para que utilizara en agua cuando le correspondiera.

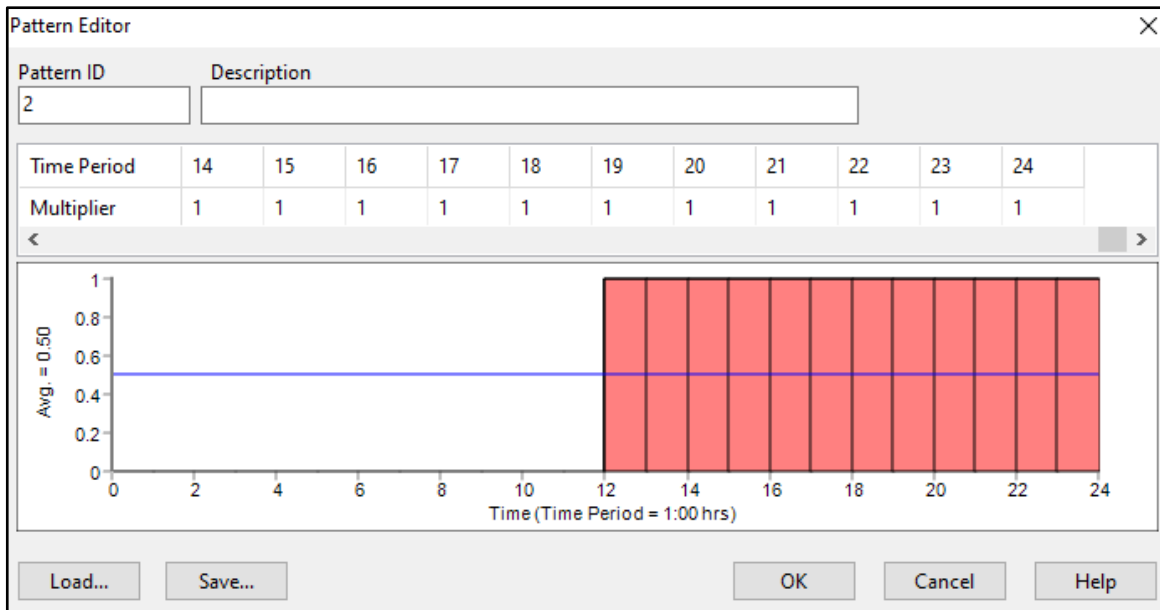


Figura 11. Patrón 2 de tiempo de uso del agua

Con respecto al patrón 3 cambia un poco porque el ciclo ya no es de 12 sino que pasa a ser de 48 ya que se usa 24 horas el sábado y 24 horas el domingo, en la imagen siguiente se puede ver los resultados de ese patrón representado en 24 horas.

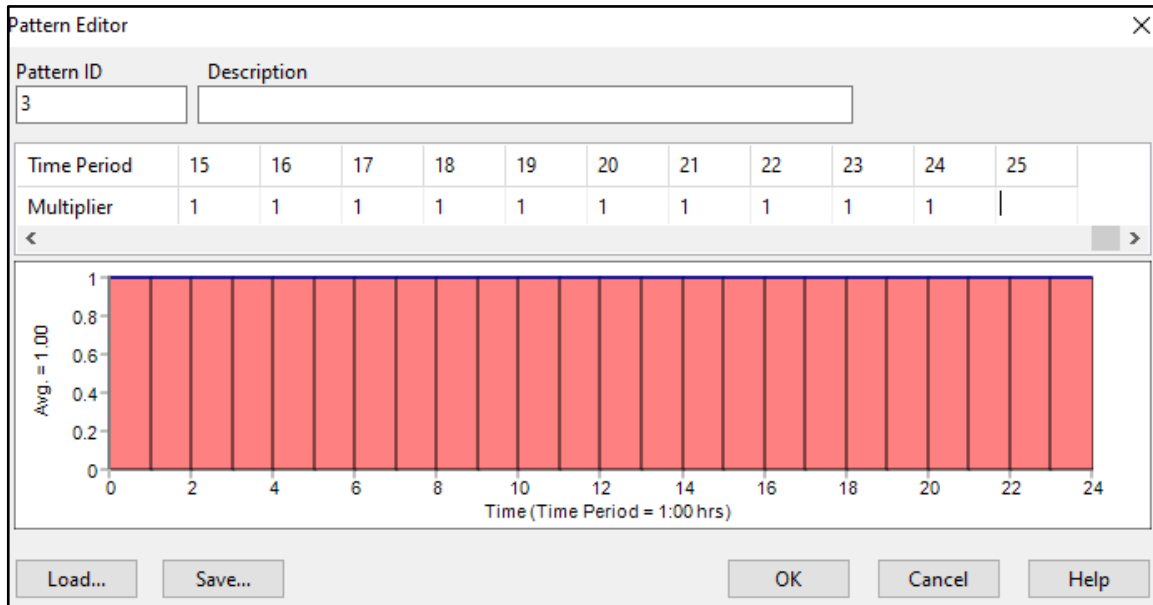


Figura 12. Patrón 3 de tiempo de aprovechamiento

6.10. Modelación patrón uno

Ya una vez con todos los datos dentro del programa de modelación Epanet se corre la misma y se obtiene como resultado en los nodos las presiones y en las líneas de tubería las velocidades correspondientes, esto va variando con respecto al paso del tiempo debido a que va cambiando los patrones y por ende cierre y apertura de las válvulas.

Como se puede observar en la siguiente figura representa al tiempo en que solamente está funcionando un tramo de la tubería, pero está en su totalidad llena ya que es un sistema presurizado.

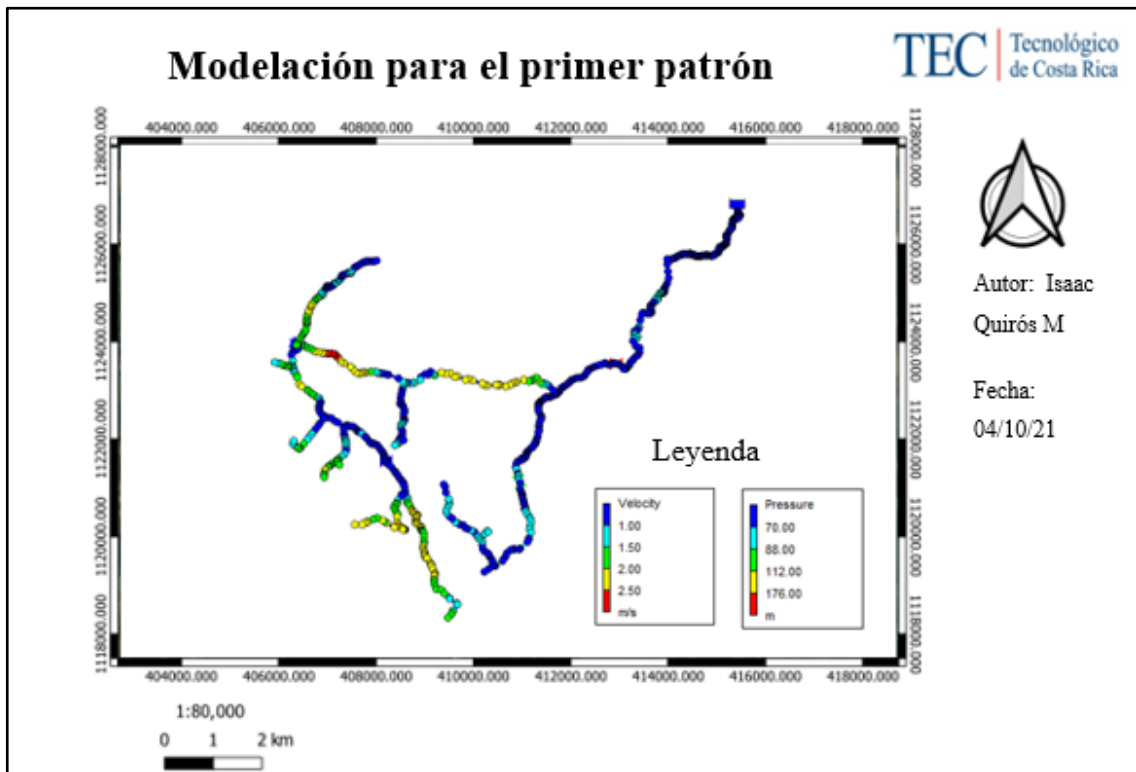


Figura 13. Modelación para el primer patrón

6.11. Modelación patrón dos

Conforme vaya avanzando el tiempo la modelación se comienza a realizar con el segundo patrón y los parcelarios que se encuentran en el primer patrón dejan de recibir agua y los del patrón 2 comienzan a recibir la dotación correspondiente, como se puede ver los resultados en la siguiente imagen, debido a esto se puede observar que la presión y velocidad cambia con respecto a algunos puntos de la figura anterior.

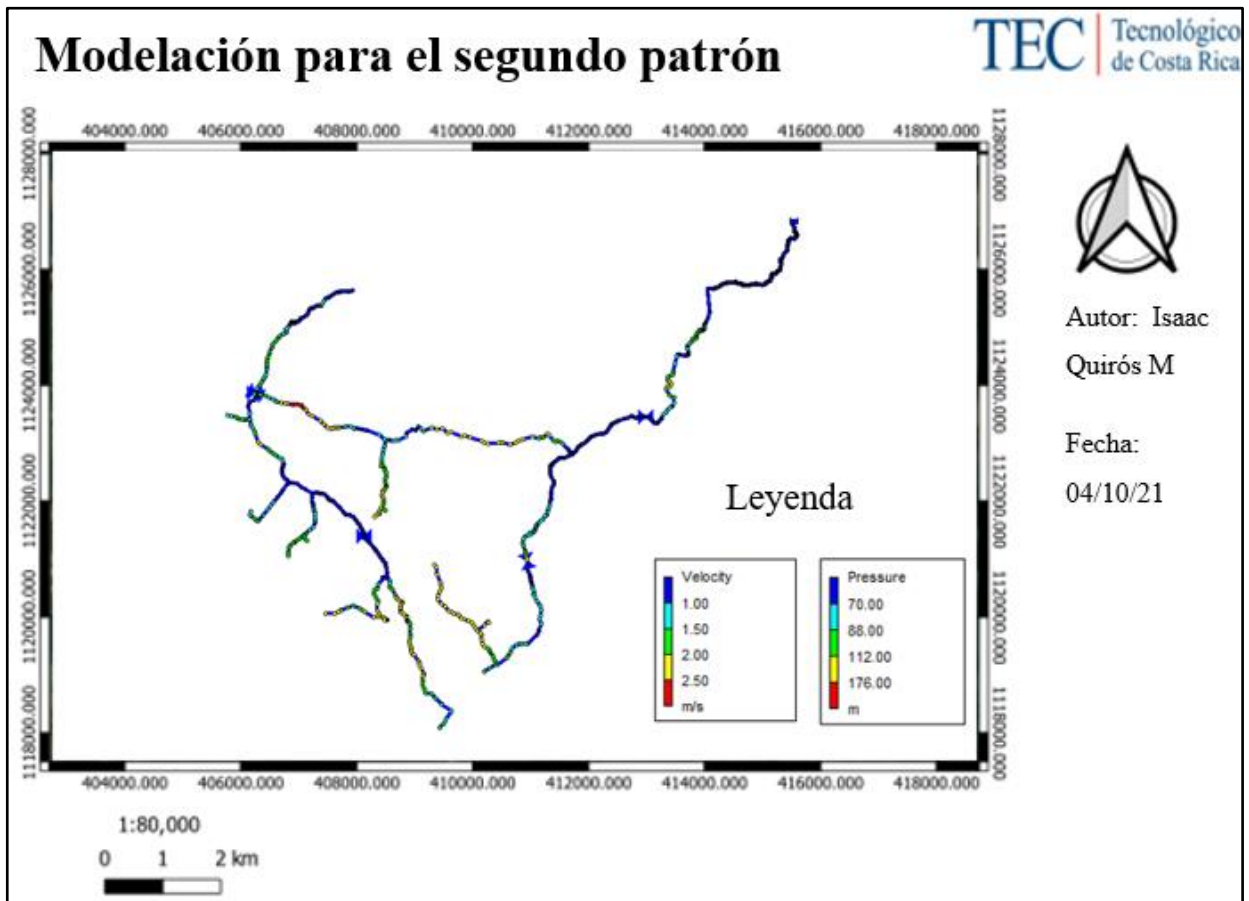


Figura 14. Modelación para el segundo patrón

6.12. Modelación patrón tres

De la misma manera cuando se cambia al patrón 3 las velocidades y presiones cambian, es importante reconocer que algunos puntos están con más velocidad o presión de lo recomendado lo cual es importante analizar estos puntos ya que pueden ser críticos. En la siguiente figura se muestra los resultados del patrón 3.

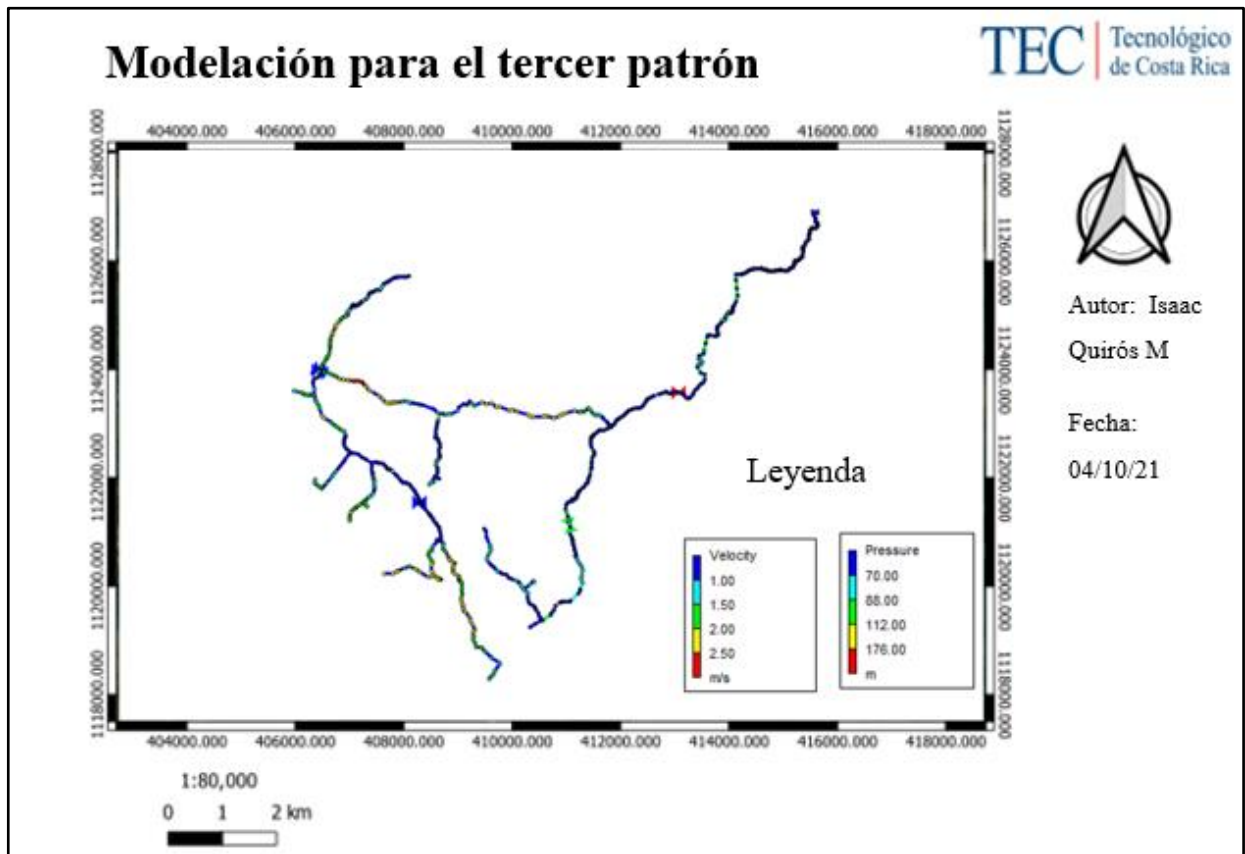


Figura 15. Modelación para el patrón3

6.13. Análisis de la red por condiciones de presión

Una vez tenido los resultados completos de las modelaciones punto por punto y tubería por tubería y basado en las especificaciones de tubería que se encuentran en el Anexo 2 se obtuvo que la mayor parte de la red se encuentra dentro del rango de operación exceptuando los puntos que se muestran en el siguiente cuadro.

Como se puede apreciar la modelación da como resultado que en el tramo desde el punto 447 hasta el punto 457 la presión supera los límites máximos de diseño por lo que podría generar daños en la tubería o inconsistencia en el flujo de agua, de igual forma debido a golpes de ariete esta presión se podría elevar más de lo deseado y superaría por mucho los límites de presión máxima en la tubería con respecto a los SDR utilizados, por lo que estas tuberías o líneas, son puntos para tomar en consideración para realizar cambios y disminuir la presión a los límites de diseño para evitar los inconvenientes citados anteriormente.

Cuadro 6. Puntos de tuberías que sobrepasa las presiones de diseño

Punto	Coordenada x	Coordenada y	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Longitud (m)	Diámetro (mm)	SDR
447	407570	1123684	264	0	148,4	140	14
448	407520	1123723	257	0	63,8	140	14
449	407479	1123784	245	0	74,5	140	14
450	407438	1123817	237	0	53,2	140	14
451	407405	1123852	231	0	48,5	140	14
452	407395	1123857	231	0	11,2	140	14
453	407355	1123875	224	0	44,4	140	14
454	407294	1123872	218	0	61,4	140	14
455	407249	1123877	226	0	46,0	140	14
456	407178	1123891	251	0	76,6	140	14
457	407150	1123890	263	0	30,5	149	14

De igual forma, en la imagen siguiente se puede apreciar de mejor manera los puntos o tramos que sobrepasa las presiones de diseño los cuales están en rojo debido a esta observación, a pesar de que las presiones están dentro del rango de operación están cerca del límite de operación por que podría generar problemas si se presenta un golpe de ariete o un cambio mínimo en algún tramo de la tubería.

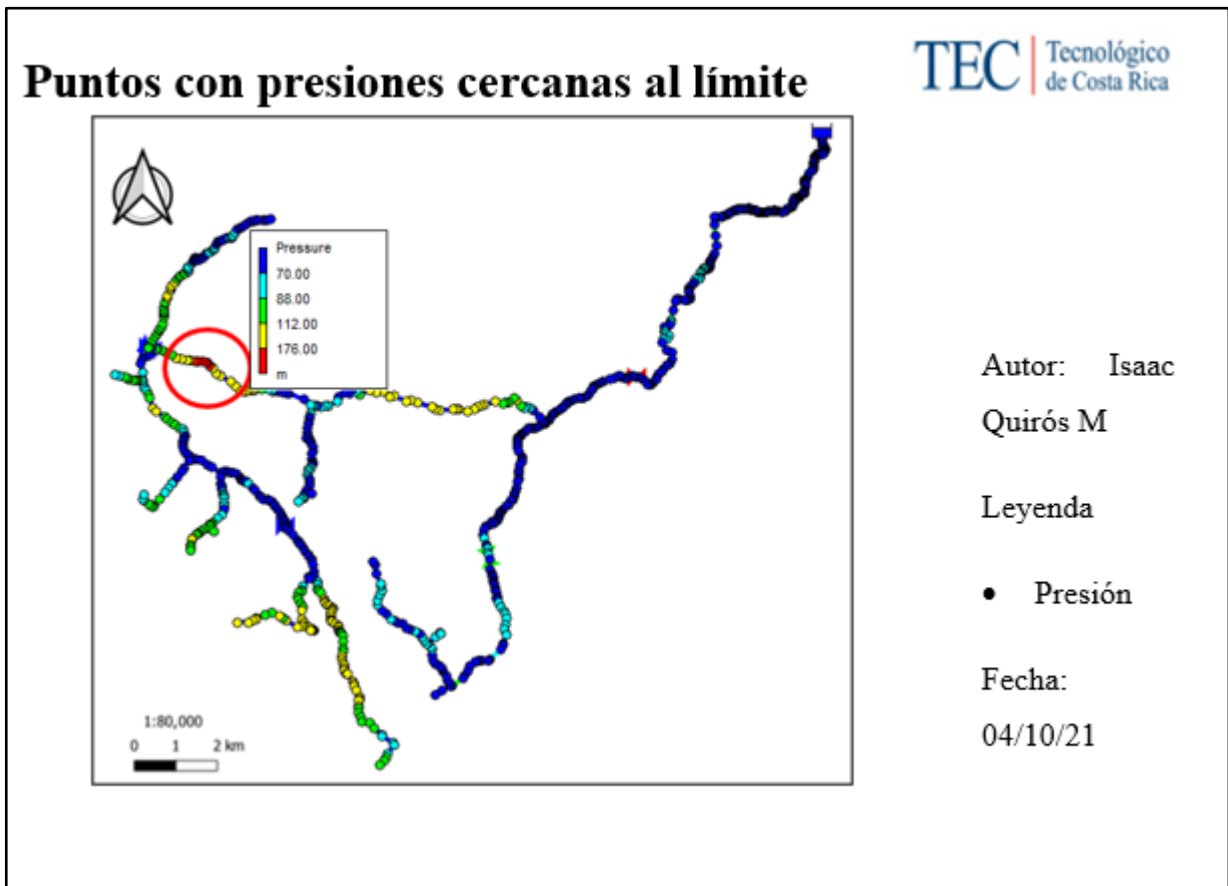


Figura 16. Puntos con presiones cercanos al límite

También es importante mencionar que al igual que hay puntos que sobrepasan los límites de presión en dos tramos de la tubería se encuentran velocidades mayores a las mencionadas anteriormente, que son velocidades de diseño estipuladas por el AyA, lo cual recomienda no sobrepasar los límites de velocidad de 2,5 m/s esto para evitar daños en la tubería e ineficiencia en la red.

En el cuadro siguiente se puede observar el primer tramo de tuberías que sobrepasa la velocidades máximas de operación.

Cuadro 7. Puntos donde la velocidad es mayor a la recomendada

Punto	Coordenada x	Coordenada y	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Longitud (m)	Diámetro (mm)	SDR
199	413755	1125175	441.615	0	67,6	208	41
200	413744	1125148	437.641	0	29,4	208	41
201	413732	1125129	433.572	0	22,8	208	32.5
202	413732	1125107	428.776	0	22,5	208	32.5
203	413734	1125087	425.063	0	20,4	208	32.5
204	413732	1125067	421.455	0	20,4	208	32.5
205	413714	1125046	416.117	0	28,2	208	26
206	413701	1125039	411.948	0	15,3	202	26
207	413691	1125037	410.315	0	10,3	202	26
208	413677	1125040	406.55	0	14,8	202	26
209	413659	1125042	401.451	0	18,8	202	26
210	413643	1125036	396.95	0	17,7	202	26

También es importante recalcar que estos puntos además de que las velocidades de encuentra cerca del límite y por arriba de las condiciones de diseño solicitadas por el Aya estos puntos

podrían generar inconsistencias del flujo dentro de la tubería y podría ocasionar problemas como cavitación o golpes de ariete debido a su velocidad.

Para que se pueda apreciar de una mejor manera en la siguiente figura se presenta uno de los tramos de la tubería que la velocidad sobrepasa los límites de diseño.

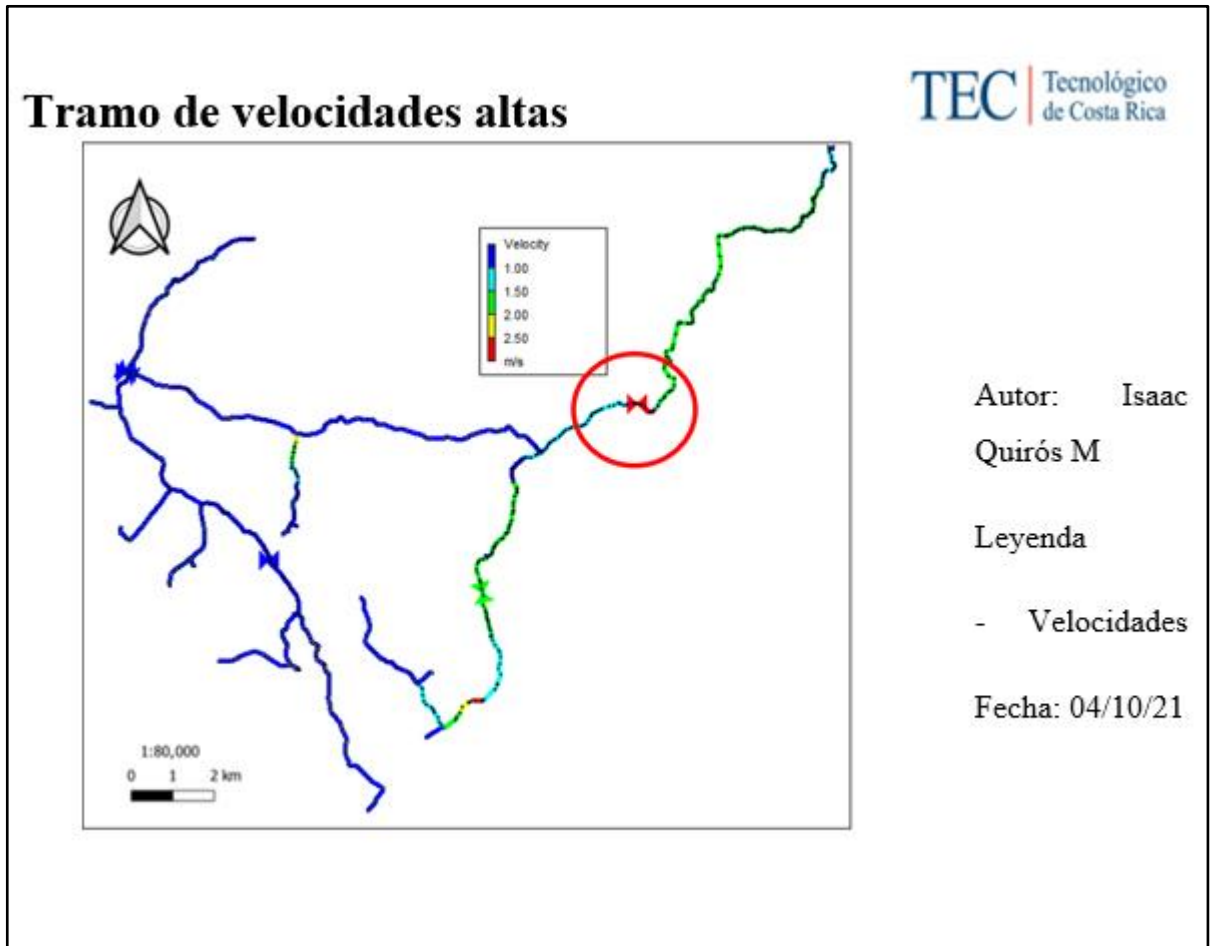


Figura 17. Tramo con velocidades mayores a las recomendadas para el diseño

6.14. Análisis de la red por condiciones de velocidad

De igual forma existe otro tramo, pero aún más pequeño en comparación a este, que, a pesar de estar entre los límites de velocidades dado por el fabricante, se encuentra fuera del rango de operación de diseño recomendado por el AyA el cual como se mencionó anteriormente es una velocidad menor a los 2,5 m/s, esto se puede observar en el siguiente cuadro.

Cuadro 8. Puntos que sobrepasan las velocidades de diseño

Punto	Coordenada x	Coordenada y	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Longitud (m)	Diámetro (mm)	SDR
T-918	411127.3	1120321.9	248	1	120,3	160	32.5
919	411122	1120314	248	0	9,5	160	32.5
T-920	411121	1120305	250	1	9,3	160	41
921	411098	1120253	248	0	56,9	160	32.5
T-922	410959.2	1120118.2	235	1	193,9	160	32.5
T-923	410948.7	1120111.2	235	1	12,6	106	32.5

Como se pudo observar estos puntos contienen demanda de parcelarios los cuales requieren que la velocidad del flujo y presión sean de acuerdo con la estipulada por la norma del AyA esto con el fin de no tener complicaciones en sus sistemas de riego o distribución y recibir las

dotaciones que se acordaron, en la siguiente figura se muestra este tramo de tubería el cual la velocidad sobrepasa los límites de diseño.

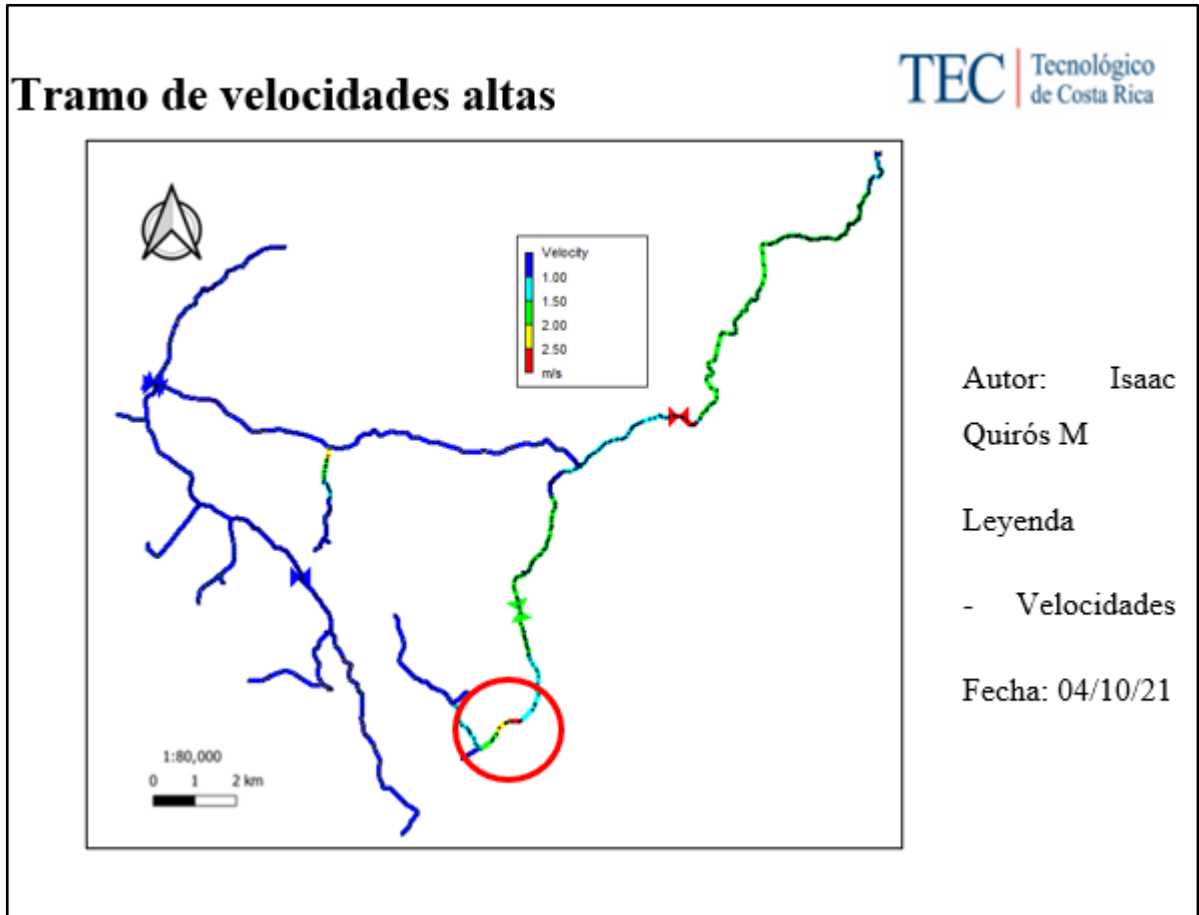


Figura 18. Tramo de tubería que sobrepasa los límites de velocidad

Después de obtener los tramos de tuberías con presiones y velocidades mayores a las recomendadas por el AyA para el diseño de redes de conducción distribución y almacenamiento, se puede realizar las mejoras en el campo para obtener las condiciones óptimas de funcionamiento de la red.

Se demostró mediante la modelación que los problemas mencionados por los parcelarios debido a quejas de poca presión y que el suministro de caudal que les llega es menor al solicitado se debe a problemas externos a la construcción y características físicas o hidráulicas de la red de distribución, conducción y almacenamiento ya que con el uso del Epanet se comprobó y dio como

resultado que si cada uno de los parcelarios recibe la presión acordada y el caudal acordado con las concesiones la red se mantiene en condiciones casi óptimas para su funcionamiento. El único punto para mejorar es en tramos donde las velocidades o presiones son mayores a los parámetros de diseño solicitados por el AyA, pero se encuentran dentro del límite de los parámetros de diseño de los fabricantes.

Una vez demostrado mediante la modelación que los parcelarios debería estar recibiendo el caudal solicitado con las presiones solicitadas es necesario realizar una investigación más a fondo para lograr determinar a que se debe esa falta de presión o agua que se está generando en la red y demostrar los usos incorrectos, indebido o abusivos que están dando algunos de los parcelarios (clientes) o personas externas al proyecto, que genere dificultades al funcionamiento óptimo del mismo.

7. CONCLUSIONES

La modelación realizada permitió conocer la situación actual de acueducto y, por ende, establecer como mejora la incorporación o cambio de tuberías en los tramos de alta presión y velocidad de la red de distribución y así regular las altas presiones y velocidades obtenidas cumpliendo lo establecido por el AyA.

Se analizó la red de distribución, considerando los parámetros de presión y velocidad en período de uso entre semana para conocer las condiciones en las que trabaja el sistema en sus momentos de máximo consumo. Mediante el análisis hidráulico realizado y los resultados arrojados en la modelación, 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 las velocidades obtenidas en algunos tramos de la red están por encima de la velocidad recomendada en la norma técnica, en promedio se obtienen velocidades que superan los 2,5 m/s. como velocidad máxima recomendada.

La conducción analizada y modelada cuenta con una longitud total cercana a los 30000 metros con diámetros nominales que rondan entre las 10 pulgadas hasta diámetros menores en tomas de una pulgada, el total de la red modelada está construida en PVC con cédulas que varían desde SDR17 hasta SDR41 a lo largo de la red y en tramos diferentes.

Mediante la modelación se puede comprobar que tomando en cuenta los aspectos hidráulicos y de operación, el funcionamiento de la red es el óptimo para los 81 parcelarios, tanto en los tiempos de apertura y cierre de válvulas como dotaciones y presiones. Lo que sucede en la red que genere problemas a algunos parcelarios es debido a un abuso o uso ilícito de la red por lo que algunos parcelarios o personas externas al proyecto están haciendo un mal uso de la red.

8. RECOMENDACIONES

Es importante y urgente realizar una investigación más a fondo acerca del porqué no se está llevando el agua necesaria a cada parcelario con la presión y caudal necesario, porque como se vio en los resultados de la modelación, si el sistema se encuentra siempre trabajando de la manera con la que fue diseñada el caudal y la presión serían las ideales para la red y clientes. Es por esto que hay que demostrar los usos incorrectos, ilegales o abusivos que están dando algunos de los parcelarios (clientes) o personas externas al proyecto, que genere dificultades al funcionamiento óptimo del mismo.

Mediante las modelación se obtuvieron los resultados de puntos que son necesario tener en cuenta en el momento de generarse algún problema en la red ya que se puede observar que algunos tramos de tubería que se encuentra con más velocidad o presión que la recomendada para el diseño. Estos puntos es importante conocerlos para resolver los problemas que se presenten lo más antes posible para cumplir con las necesidades

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 los parcelarios y compararlo con la dotación total por mes para determinar cuanta es la cantidad de agua que se pierde o no se está aprovechando, queda como agua no contabilizada. De esta manera se puede tener un control de lo que está sucediendo en la red y donde se genera un uso abusivo del consumo hídrico que genere problemas para los otros usuarios.

Llevar de una mejor manera los registros de aforos. Es conveniente realizar al menos un aforo cada seis meses, donde se anoten descripciones del día de aforo y hacerlo cuando las condiciones sean las ideales, así como también prestar atención al comportamiento del rio en época de estiaje.

Una vez que se cuente con registros de aforo que permitan evidenciar el comportamiento de la fuente, se recomienda recalcular el balance hídrico del mismo considerando un porcentaje de reducción en la producción de las fuentes de agua, para obtener un dato más preciso y además esto debido al aumento de las temperaturas y disminución de los afluentes.

9. BIBLIOGRAFÍA

Álvares et al, M. (2018). *Hidraulica para ingenieros civiles*. Obtenido de https://books.google.co.cr/books?id=_MtaDwAAQBAJ&pg=PA35&dq=red+abierta+o+ramificada&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiRzpuV3bXyAhVGTDABHcPLDJQQ6AEwAHoECACQA#v=onepage&q=red%20abierta%20o%20ramificada&f=false

AyA. (2017). *Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial*. Obtenido de <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Norma%20dise%C3%B1o%20y%20construccion%20sistemas%20agua,%20saneamiento%20y%20pluvial.pdf>

Benjarano. (2013). *Diagnóstico del acueducto de Santa Cruz y propuestas de mejora*. Obtenido de <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Diagn%C3%B3stico%20%20del%20acueducto%20de%20Santa%20Cruz%20y%20propuesta%20de%20mejora%20%20Esteban%20Bejarano%20SP.pdf>

CONAGUA. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Diseño de Redes*. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%20s.f.a.%20Dise%C3%B1o%20de%20redes%20de%20distribuci%C3%B3n%20de%20agua%20potable.pdf

Corchón, F. (2005). *Acueductos: teoría y diseño*. Obtenido de <https://books.google.co.cr/books?id=194g9lx5vpcC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Dondé, M. (2005). *Transporte de momentum y calor teoría y aplicaciones a la ingeniería de proceso*. Obtenido de https://books.google.co.cr/books?id=dVwEW2_4434C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

- Martínez. (2001). *Manual de operación y mantenimiento de equipos de riego presurizado*.
Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/7729/NR28083.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moratiel. (2015). *Operaciones auxiliares de riego en cultivos agrícolas*. Obtenido de https://books.google.co.cr/books?id=dU4jCgAAQBAJ&printsec=copyright&source=gb_s_pub_info_r#v=onepage&q&f=false
- Morelos et al. (2016). *Modelación hidráulica de la red de distribución de agua potable en una ciudad Mexicana EPANET*. Obtenido de <http://www.reibci.org/publicados/2017/abr/2200106.pdf>
- O'neal, K. (2017). *Universidad de Costa Rica*. Obtenido de <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2017/10/10/asi-enfrentamos-el-reto-de-llevar-agua-a-los-cultivos-en-guanacaste.html>
- Ortiz, G. (2006). *El golpe de ariete en sistemas de agua potable*. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2611_C.pdf
- Palacios et al, L. (2005). *Métodos y algoritmos de diseño en ingeniería química*. Obtenido de <https://books.google.co.cr/books?id=eIxZGIxhek4C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Peñaranda. (2021). *Evaluación y rediseño del sistema de distribución, conducción y almacenamiento del sector Tucurrique centro perteneciente al Acueducto Rural de Tucurrique*. Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/12361>
- Pérez. (2016). *Evaluación de la capacidad hidráulica de la red de distribución del acueducto de San*. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7390/08-11-16_TFG%20Atahualpa%20Perez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rebollo, J. (2017). *Replanteo de redes de distribución de agua y saneamiento. ENAT0108*.
Obtenido de

<https://books.google.co.cr/books?id=J1UpEAAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

SENARA. (2021). *SENARA*. Obtenido de http://www.senara.or.cr/acerca_del_senara/quienes_somos.aspx

Solís, D. (2021). *Informe de diseño proyecto de riego San Rafael Sardinal*.

Tormo, C., & Blanca, V. (2014). *Recursos para la instalación de redes de abastecimiento y distribución de agua y saneamiento*. Obtenido de <https://books.google.co.cr/books?id=9Nv7CAAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Trapote, J. (2014). *Infraestructuras hidráulico-sanitarias Abastecimiento y distribución de agua*. Obtenido de <https://books.google.co.cr/books?id=3ejTAgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

10. ANEXOS

10.1. Anexo1, Topografía de la red principal

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
2	415125	1126743	499,46
3	415115	1126702	499,46
4	415144	1126656	499,46
5	415141	1126623	499,46
6	415140	1126582	499,46
7	415152	1126577	499,46
8	415154	1126577	495,143
9	415166	1126569	494,459
10	415176	1126574	492,29
11	415183	1126539	491,61
23	415179	1126533	489,74
24	415171	1126513	486,865
25	415168	1126509	485,335
26	415164	1126505	482,105
27	415158	1126496	481,801
28	415152	1126489	480,867
29	415144	1126480	477,152
30	415143	1126477	477,108
33	415092	1126482	475,132
34	415079	1126472	474,453
36	415067	1126457	473,29
37	415049	1126441	471,862
38	415047	1126429	470,511
39	415043	1126412	469,814
40	415043	1126408	470,885
41	415046	1126397	470,097
42	415045	1126391	469,518
43	415044	1126381	469,859
44	415042	1126361	468,403
45	415041	1126354	468,842
46	415040	1126345	468,281
47	415045	1126327	463,933
48	415045	1126310	462,961
49	415041	1126303	467,018

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
50	415040	1126300	467,01
51	415041	1126294	467,253
52	415027	1126290	466,814
53	415019	1126284	465,631
54	414998	1126268	465,553
55	414976	1126230	466,915
56	414956	1126199	465,926
57	414945	1126167	465,513
58	414933	1126142	465,323
69	414923	1126146	464,618
70	414919	1126141	463,62
71	414916	1126123	462,372
72	414917	1126105	462,953
73	414927	1126090	463,323
74	414932	1126071	464,439
75	414931	1126065	465,395
76	414918	1126031	462,298
77	414915	1126023	464,169
78	414915	1126011	464,01
79	414916	1125996	461,512
80	414916	1125991	464,038
81	414916	1125988	464,109
82	414905	1125982	464,7
83	414893	1125976	463,515
84	414890	1125975	462,387
85	414880	1125970	464,505
86	414862	1125940	463,129
87	414859	1125936	463,902
88	414853	1125926	463,097
89	414832	1125924	463,321
90	414819	1125923	463,308
91	414809	1125923	462,997
92	414794	1125922	463,206
93	414790	1125918	461,772
94	414789	1125907	458,274
95	414785	1125896	461,664
96	414788	1125877	461,023
97	414777	1125854	459,715

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
98	414765	1125841	458,125
99	414763	1125821	455,369
100	414744	1125801	457,928
491	414728	1125797	459
481	414711	1125794	465
471	414698	1125790	465
461	414675	1125767	466
451	414670	1125759	466
441	414636	1125747	467
421	414594	1125761	468
411	414570	1125767	468
131	414545	1125768	459,57
132	414535	1125766	456,993
133	414530	1125765	457,095
134	414520	1125763	459,407
135	414513	1125762	460,106
136	414498	1125760	460,06
137	414472	1125757	463,943
138	414451	1125756	464,198
139	414446	1125752	464,513
140	414430	1125741	474,7
371	414398	1125747	479,724
144	414369	1125743	477,18
145	414355	1125747	476,163
146	414347	1125747	475,539
147	414335	1125747	475,816
361	414329	1125756	484
351	414320	1125765	484
341	414306	1125766	484
331	414299	1125769	484
152	414280	1125768	469,459
153	414277	1125769	467,908
154	414249	1125776	457,638
155	414240	1125783	452,8
156	414234	1125788	446,832
157	414223	1125796	439,356
158	414221	1125798	439,506
159	414199	1125788	435,257

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
160	414192	1125786	434,266
161	414187	1125783	433,976
162	414183	1125782	436,384
163	414158	1125782	448,291
164	414141	1125784	451,838
165	414131	1125786	455,855
166	414114	1125788	466,229
167	414107	1125789	468,397
168	414084	1125782	471,847
169	414075	1125779	472,3
170	414031	1125768	470,312
171	414007	1125755	468,266
172	413999	1125750	465,934
173	413984	1125742	475,148
174	413974	1125736	475,779
175	413954	1125716	474,863
176	413905	1125702	471,565
177	413896	1125700	469,881
178	413882	1125696	463,286
179	413872	1125693	466,02
T-180	413855	1125688	467,289
181	413851	1125687	466,866
182	413801	1125684	457,298
183	413794	1125685	456,258
184	413787	1125686	456,836
201	413785	1125593	447
191	413798	1125449	460
181	413807	1125332	476,27
171	413780	1125234	463
199	413755	1125175	441,615
200	413744	1125148	437,641
201	413732	1125129	433,572
202	413732	1125107	428,776
203	413734	1125087	425,063
204	413732	1125067	421,455
205	413714	1125046	416,117
206	413701	1125039	411,948
207	413691	1125037	410,315

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
208	413677	1125040	406,55
209	413659	1125042	401,451
210	413643	1125036	396,95
211	413639	1125029	396,843
212	413628	1125006	389,865
213	413614	1124989	385,993
214	413611	1124985	385,458
215	413609	1124982	387,144
216	413609	1124929	391,338
217	413600	1124914	394,062
218	413593	1124905	394,667
219	413547	1124900	399,461
220	413532	1124866	405,863
221	413518	1124849	406,572
222	413489	1124816	412,211
223	413467	1124788	416,888
224	413468	1124766	420,031
225	413469	1124758	422,863
226	413470	1124733	426,431
227	413473	1124696	431,241
228	413472	1124660	435,935
229	413468	1124649	440,48
230	413445	1124642	431,46
230,1	413422	1124637	440,48
231	413407	1124641	440,48
1041	413403	1124646	438
T-1051	413337,3	1124648,5	431
1061	413307	1124649	431
1071	413303	1124631	423
1081	413262	1124522	419
1091	413243	1124391	391
1101	413239	1124367	391
1111	413228	1124328	399
1121	413162	1124309	396
T-1131	413160	1124256	387
1141	413164	1124245	378
1151	413178	1124226	378
1161	413213	1124189	379

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
1171	413189	1124158	383
1181	413148	1124150	384
1191	413123	1124111	393
1201	413185	1124016	403
1211	413249	1123988	395
1221	413256	1123902	417
T-1231	413253	1123897	417
1241	413220	1123839	430
255	413199	1123826	426,689
256	413187	1123812	425,234
257	413138	1123768	420,671
258	413122	1123747	421,063
259	413092	1123714	424,087
260	413065	1123665	429,627
261	413053	1123651	430,943
262	413011	1123606	438,616
263	412993	1123580	441,635
264	412973	1123571	440,954
265	412960	1123572	439,725
266	412950	1123577	438,64
267	412899	1123631	432,136
268	412856	1123663	433,644
T-269	412828	1123676	432,551
Tanque 1	412795	1123677	429,169
271	412795	1123677	429,169
272	412765	1123689	423,447
273	412753	1123687	421,351
274	412701	1123674	415,882
275	412677	1123668	414,019
276	412646	1123665	412,884
277	412617	1123672	412,507
278	412596	1123689	411,108
279	412583	1123693	410,081
280	412577	1123691	409,669
281	412528	1123660	403,936
282	412477	1123646	401,281
283	412392	1123625	395,967
284	412353	1123608	390,313

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
285	412325	1123596	385,012
286	412307	1123583	380,285
287	412281	1123562	375,71
288	412265	1123543	374,425
289	412263	1123540	371,187
290	412260	1123537	374,351
291	412249	1123517	373,949
292	412222	1123485	372,279
293	412186	1123440	375,21
294	412157	1123424	375,213
295	412131	1123410	374,864
296	412098	1123408	371,405
297	412085	1123405	371,046
298	412082	1123405	369,902
299	412078	1123403	371,079
300	412029	1123391	373,152
301	411995	1123385	375,17
302	411958	1123371	377,787
303	411937	1123352	378,883
304	411930	1123344	378,444
305	411906	1123321	374,602
306	411882	1123291	372,902
T-307	411864	1123277	371,874
308	411833	1123252	372,043
309	411802	1123238	370,399
310	411765	1123219	369,998
T-311	411755	1123212	369,965
312	411747	1123204	369,625
313	411728	1123175	368,362
314	411712	1123148	367,147
315	411697	1123130	366,692
316	411679	1123110	366,219
T-317	411661	1123092	367,32
317,1	411655	1123084	366,172
317,2	411655	1123084	366,172
318	411616	1123073	367,448
319	411585	1123063	369,56
320	411532	1123036	371,308

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
T-321	411497	1123025	374,176
322	411459	1123030	379,384
323	411451	1123027	380,687
T-324	411442	1123022	381,644
T-325	411432	1123015	382,235
326	411405	1122992	383,891
327	411366	1122956	392,428
328	411355	1122943	394,798
329	411354	1122942	394,186
330	411353	1122940	394,846
331	411326	1122920	397,868
332	411318	1122909	399,99
333	411313	1122900	401,354
334	411309	1122886	403,02
335	411307	1122874	403,538
336	411307	1122854	402,618
337	411310	1122820	401,317
338	411316	1122775	395,732
T-339	411325	1122743	393,708
340	411360	1122671	384,359
341	411368	1122650	382,136
342	411371	1122631	379,471
343	411371	1122622	377,921
344	411369	1122607	376,641
346	411344	1122565	366,319
347	411320	1122494	360,758
348	411317	1122461	359,552
349	411320	1122408	359,626
T-350	411318	1122385	360,781
351	411313	1122361	361,601
352	411301	1122277	352,237
353	411278	1122233	347,7
354	411272	1122201	346,331
355	411266	1122176	345,344
356	411249	1122141	344,462
357	411235	1122123	343,854
358	411233	1122119	343,101
359	411230	1122116	343,839

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
360	411193	1122068	345,939
361	411170	1122046	345,095
362	411128	1122009	342,514
363	411105	1121987	341,919
364	411093	1121968	341,704
365	411092	1121966	340,704
366	411092	1121964	341,618
367	411084	1121942	342,147
368	411077	1121922	343,149
369	411070	1121905	344,497
370	411063	1121891	345,777
371	411052	1121871	346,161
372	411029	1121851	346,45
373	411014	1121843	346,018
374	411013	1121843	345,297
375	411011	1121842	346,108
376	410995	1121834	347,94
377	410993	1121851	350
377,1	410980	1121873	361,14
Tanque 1	410980	1121873	361,14
377	410993	1121851	350
377,1	410993	1121851	350
376	410995	1121834	347,94
882	410957	1121816	352
883	410915	1121806	349
884	410900	1121786	345
885	410888	1121754	348
886	410874	1121693	338
887	410889	1121646	322
888,1	410910,9	1121563,9	322
888	410912	1121555	339,764
889	410930	1121518	321
890	410936	1121461	316
T-891	410945	1121434	312
893	410962	1121382	312
Tanque 2	410967	1121353	313
895	410959	1121261	279
896	410981	1121197	287

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
897	410990	1121166	282
898	410998	1121153	276
899	410995	1121117	276
900	411005	1121104	266
902	411010	1121067	252
903	411017	1121052	258
904	411023	1121024	247
905	411035	1120994	242
906	411040	1120962	240
907	411051	1120910	249
908	411044	1120897	239
T-909	411056	1120880	241
910	411078	1120829	231
911	411101	1120780	226
912	411148	1120721	225
913	411158	1120699	225
914	411169	1120633	228
915	411162	1120561	231
916	411147	1120504	227
917	411163	1120435	228
T-918	411127,3	1120321,9	248
919	411122	1120314	248
T-920	411121	1120305	250
921	411098	1120253	248
T-922	410959,2	1120118,2	235
T-923	410948,7	1120111,2	235
924	410936	1120111	235
925	410861	1120106	227
T-926	410825,2	1120102,1	226
T-927	410795	1120100	227
928,1	410772,3	1120094,2	229
928	410709	1120038	229
T-929	410673	1119966	223
930	410643	1119910	224
931	410624	1119881	221
T-469	410482	1119789	212,59
T-971	410459	1119785	212
T-972	410364	1119730	205

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
T-973	410277	1119670	211
363	411658	1123092	368
364	411655	1123097	368
365	411653	1123098	368
366	411652	1123099	368
T-367	411651	1123101	368
368	411640	1123109	365
369	411634	1123115	365
370	411598	1123148	360
371	411586	1123168	360
372	411512	1123250	350
373	411464	1123278	339
374	411415	1123291	339
375	411389	1123284	340
376	411349	1123305	324
377	411292	1123376	305
378	411263	1123404	308
379	411204	1123352	316
380	411155	1123352	322
381	411153	1123351	322
382	411134	1123344	322
383	411023	1123362	303
384	410890	1123326	281
385	410841	1123313	276
386	410811	1123299	275
T-387	410770	1123273	268
388	410681	1123241	258
389	410564	1123267	258
390	410545	1123265	261
391	410498	1123265	261
392	410325	1123261	286
393	410267	1123271	291
T-394	410233	1123297	289
395	410055	1123347	278
396	409969	1123387	278
397	409903	1123362	267
398	409763	1123443	267
399	409701	1123424	258

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
400	409622	1123495	281
401	409539	1123474	289
402	409452	1123514	297
403	409318	1123454	324
404	409286	1123487	335
405	409237	1123525	350
406	409196	1123470	353
407	409144	1123479	355
408	409059	1123426	360
T-409	409036	1123367	346
410	408931	1123308	341
411	408887	1123313	341
412	408833	1123304	344
413	408793	1123312	348
414	408748	1123311	345
T-415	408725	1123312	345
416	408720,2	1123313,8	345
417	408707	1123327	346
T-789	408618	1123398	347
418	408433	1123469	382
422	408414	1123468	387
432	408410	1123472	381
T-433	408358	1123476	370
434	408288	1123491	357
435	408224	1123497	352
436	408216	1123504	343
437	408173	1123515	336
438	408094	1123524	318
439	407998	1123513	302
440	407959	1123507	298
441	407926	1123504	294
442	407897	1123491	293
443	407859	1123496	296
444	407816	1123514	299
445	407751	1123560	296
446	407702	1123619	283
447	407570	1123684	264
448	407520	1123723	257

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
449	407479	1123784	245
450	407438	1123817	237
451	407405	1123852	231
452	407395	1123857	231
453	407355	1123875	224
454	407294	1123872	218
455	407249	1123877	226
456	407178	1123891	251
457	407150	1123890	263
458	407085	1123901	272
459	407014	1123912	304
460	406957	1123960	324
461	406893	1123981	326
462	406836	1124006	321
463	406779	1124019	312
464	406762	1124021	318
465	406705	1124039	317
466,1	406670,8	1124050,8	317
T-466	406670,8	1124050,8	317
Tanque 1	406665,7	1124053,9	317
666	406692	1124043	317
667	406711	1124027	317
668	406695	1123999	297
669	406679	1123974	277
670	406661	1123947	277
671	406599	1123908	265
672	406573	1123883	256
673	406571	1123847	250
674	406587	1123725	232
T-675	406592	1123635	238
676	406604	1123564	235
677	406614	1123535	231
678	406629	1123512	234
679	406658	1123458	223
T-680	406673	1123416	213
681	406713	1123283	200
682	406767	1123238	200
683	406870	1123171	215

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
684	406906	1123148	215
685	406960	1123107	214
686	407006	1123073	221
687	407051	1123038	229
688	407093	1123011	239
689	407113	1122973	245
690	407120	1122940	251
691	407117	1122925	251
692	407112	1122894	256
693	407104	1122860	258
694	407096	1122827	258
695	407091	1122796	259
696	407110	1122753	262
697	407146	1122716	267
698	407178	1122677	272
T-699	407206	1122647	269
716	407260	1122634	267
717	407329	1122629	265
718	407403	1122575	260
719	407455	1122536	262
720	407575	1122476	270
T-721	407576	1122475	270
T-722	407610	1122480	270
722,1	407612,6	1122480	270
723	407654	1122483	264
724	407686	1122474	264
725	407724	1122468	261
726	407770	1122453	255
727	407805	1122419	252
728	407830	1122394	253
729	407846	1122373	253
730	407855	1122368	253
731	407863	1122363	253
732	407890	1122359	250
733	407924	1122334	247
734	407974	1122283	249
735	407982	1122273	249
736	408008	1122246	251

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
737	408060	1122176	256
738	408073	1122158	260
739	408110	1122137	257
740	408154	1122133	262
741	408169	1122125	262
742	408219	1122107	267
743	408246	1122062	273
744	408254	1122052	273
745	408289	1122005	271
746	408309	1121977	271
747	408331	1121946	272
748	408343	1121927	274
749	408357	1121904	273
750	408372	1121875	272
751	408384	1121857	273
752	408402	1121808	275
753	408401	1121803	276
754	408395	1121799	276
754,1	408384,47	1121797	277
754,2	408381,77	1121797	277
Tanque 2	408380	1121796	277
756	408388	1121774	276
757	408410	1121761	276
758	408419	1121754	275
759	408443	1121728	273
760	408487	1121682	266
761	408543	1121615	261
762	408560	1121590	257
T-763	408568	1121576	262
764	408593	1121544	258
765	408617	1121507	253
T-766	408640	1121472	243
767	408673	1121434	230
768	408683	1121422	224
769	408716	1121376	218
770	408725	1121353	215
771	408725	1121347	215
772	408734	1121305	214

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
T-773	408750	1121223	216
T-774	408749	1121168	216
775	408754	1121136	213
776	408761	1121125	209
777	408788	1121096	204
778	408792	1121056	193
779	408792	1121008	182
780	408805	1120990	174
781	408828	1120961	173
782	408877	1120879	163
783	408887	1120848	161
784	408892	1120834	161
785	408911	1120808	159
786	408946	1120787	159
787	408980	1120767	163
828	408984	1120762	163
829	408977	1120745	163
830	408969	1120733	165
831	408962	1120713	165
832	408954	1120661	164
833	408957	1120623	159
834	408957	1120606	153
835	408966	1120593	153
836	409008	1120576	149
837	409050	1120548	155
838	409057	1120536	155
839	409062	1120530	155
840	409055	1120484	159
841	409067	1120470	166
842	409075	1120460	167
843	409087	1120452	167
844	409103	1120438	171
845	409106	1120411	169
846	409106	1120349	174
T-847	409106	1120265	173
848	409106	1120225	170
849	409099	1120168	165
850	409099	1120123	160

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
851	409113	1120080	152
852	409131	1120051	152
853	409133	1120013	146
854	409131	1119975	147
855	409152	1119946	149
856	409172	1119934	149
857	409239	1119835	143
858	409250	1119817	143
859	409250	1119785	138
860	409287	1119728	145
861	409327	1119649	144
862	409326	1119619	144
863	409313	1119599	144
864	409309	1119538	165
865	409305	1119500	173
866	409313	1119447	176
T-867	409330	1119388	182
868	409331	1119387	183
869	409353	1119343	182
870	409447	1119319	189
T-871	409511	1119249	188
T-872	409598	1119172	193
T-873	409599	1119157	196
874	409748	1119075	199
875	409759	1119045	202
T-876	409666	1118926	194
877	409662	1118893	190
T-878	409624	1118851	188
T-879	409580	1118798	187
790	408705	1123218	334
791	408695	1123166	333
T-792	408695	1123157	333
793	408677	1123105	331
794	408673	1123082	330
795	408667	1123036	330
796	408667	1122975	323
T-797	408670	1122927	322
T-798	408655	1122912	321

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
799	408689	1122888	317
800	408709	1122861	318
801	408712	1122850	318
802	408727	1122815	316
803	408737	1122788	315
804	408730	1122735	312
T-805	408725	1122708	308
806	408725	1122637	306
807	408733	1122605	307
808	408732	1122591	307
809	408726	1122573	307
810	408721	1122556	307
811	408702	1122531	302
812	408681	1122508	302
813	408675	1122488	292
814	408659	1122449	291
815	408672	1122412	290
816	408687	1122382	304
817	408698	1122352	306
818	408692	1122308	310
819	408661	1122253	305
T-820	408653	1122242	305
823	408628	1122190	299
824	408618	1122157	291
825	408612	1122149	291
826	408584	1122138	282
T-827	408547	1122105	286
821	408687	1122225	310
T-822	408718	1122209	312
675,1	406584	1123635,8	238
516	406533	1123640	218
517	406505	1123634	214
518	406492	1123632	208
519	406472	1123627	208
520	406408	1123653	212
521	406400	1123655	212
T-522	406371	1123670	217
523	406300	1123692	230

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
T-524	406246	1123706	238
699,1	407199	1122633	269
T-700	407188	1122620	272
701	407116	1122525	264
702	407090	1122489	256
703	407032	1122415	260
704	406974	1122346	255
705	406960	1122329	246
706	406918	1122282	238
707	406871	1122222	230
708	406808	1122133	225
709	406740	1122054	216
710	406721	1122038	216
711	406697	1122057	216
712	406657	1122086	217
T-713	406607	1122119	232
714	406596	1122143	232
T-715	406610	1122189	243
476	407572	1122420	269
477	407578	1122335	253
478	407585	1122302	253
479	407592	1122264	251
480	407602	1122214	238
481	407606	1122199	238
482	407609	1122178	235
483	407612	1122151	236
484	407619	1122095	245
485	407614	1122058	244
486	407610	1122012	248
487	407583	1121941	242
488	407531	1121897	232
489	407469	1121845	219
T-490	407453	1121831	210
T-491	407437	1121813	210
495	407390	1121776	209
496	407362	1121752	208
497	407315	1121725	210
499	407291	1121703	210

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
500	407282	1121696	210
501	407264	1121686	209
507	407226	1121650	205
508	407214	1121633	205
509	407212	1121628	205
510	407200	1121561	214
511	407198	1121532	219
512	407194	1121495	216
T-513	407193	1121488	216
774,1	408735	1121166	216
Tanque 1	408681	1121163	218
976	408614	1121039	195
T-977	408600	1120992	182
978	408594	1120982	182
979	408558	1120963	185
980	408541	1120902	168
981	408547	1120878	169
982	408555	1120871	169
983	408582	1120824	175
984	408602	1120783	172
T-985	408597	1120732	164
986	408591	1120624	162
987	408618	1120578	162
T-997	408636	1120536	163
998	408612	1120537	163
999	408541	1120530	164
T-1000	408404	1120607	161
1003	408351	1120639	167
1004	408321	1120669	166
1005	408214	1120710	168
1006	408137	1120680	169
1007	408026	1120635	165
1008	408028	1120627	165
1009	407985	1120611	163
T-1010	407922	1120577	161
T-1011	407778	1120583	159
933	410460	1119828	215
934	410433	1119862	214

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
935	410410	1119916	217
936	410374	1119964	216
937,1	410364	1119997	213
T-937	410362	1120003	213
938	410334	1120035	211
939	410270	1120071	198
940	410248	1120102	195
941	410228	1120182	195
942	410231	1120248	189
943	410217	1120277	189
944	410170	1120313	191
T-945	410159	1120321	186
950	410138	1120359	185
951	410106	1120395	185
952	410071	1120448	188
953	410026	1120474	187
T-954	409957	1120504	187
955	409916	1120513	191
956	409865	1120565	194
957	409800	1120584	192
958	409754	1120608	188
959	409708	1120627	185
960	409660	1120695	186
961	409598	1120744	186
962	409543	1120809	176
963	409551	1120866	176
964	409572	1120938	177
965	409600	1120991	173
T-966	409584	1121040	175
T-967	409582	1121067	175
968	409539	1121202	190
T-969	409514	1121308	196
T-970	409492	1121349	198
996	408684	1120522	161
T-988	408706	1120512	158
989	408744	1120492	153
990	408750	1120484	155
991	408742	1120484	156

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
992	408738	1120489	156
993	408728	1120484	159
T-994	408724	1120483	158
T-995	408710	1120486	161
946	410270	1120397	183
947	410334	1120451	181
948	410350	1120444	180
T-949	410350	1120443	182
821	408687	1122225	310
T-822	408718	1122209	312

10.2. Anexo 2, Especificaciones de tubería

Pulg	mm	SDR 13.5 (315 psi) (ASTM2241)	SDR 17 (250 psi) (ASTM2241)	SDR 26 (160 psi) (ASTM 2241)	SDR 32.5 (125 psi) (ASTM2241)	SDR 41 (drenaje)	SDR 50 (drenaje)	*SCH 40 (ASTM1785)	PVC SCH80 ASTM 1785	CPVC FlowGuard Gold NSF SE 8225 CTS SDR 13.5
1/2"	12	18.2/21.3	...	...	...	...	...	15.8/21.3	13,8/21,3	13,1/15,9
3/4"	18	...	23.5/26.7	...	...	...	...	20.9/26.7	18,9/26,7	22,2/18,9
1"	25	...	29.5/33.4	30.4/33.4	...	...	...	26.6/33.4	24,3/33,4	24,4/28,6
1 1/4"	31	...	37.2/42.2	38.9/42.2	39.1/42.2	39.8/42.2	...	35.0/42.2	32,5/42,2	29,7/34,9
1 1/2"	38	...	42.6/48.3	44.6/48.3	45.3/48.3	45.9/48.3	...	40.9/48.3	38,1/48,3	35,2/41,3
2"	50	...	53.2/60.3	55.3/60.3	56.6/60.3	57.4/60.3	57.9/60.3	52.5/60.3	49,2/60,3	46,0/54,0
2 1/2"	62	...	64.4/73.0	67.4/73.0	68.5/73.0	69.5/73.0	...	62.7/73.0	59,0/73,0	
3"	75	...	78.4/88.9	82.0/88.9	83.4/88.9	84.6/88.9	83.3/88.9	77.9/88.9	73,7/88,9	
4"	100	...	100.8/114.3	105.5/114.3	107.3/114.3	108.7/114.3	109.7/114.3	102.3/114.3	97,2/114,3	
6"	150	...	148.5/168.3	155.3/168.3	157.9/168.3	160.1/168.3	...	154.1/168.3	146,4/168,3	
8"	200	...	193.3/219.1	202.2/219.1	205.6/219.1	208.4/219.1	...	...	193,7/219,1	
10"	250	...	240.9/273.1	252.1/273.1	256.2/273.1	259.8/273.0	...	...	243,0/273,1	
12"	300	...	285.8/323.8	299.0/323.8	303.9/323.8	308.1/323.8	...	...	288,9/323,8	
15"	375	...	...	358.7/388.6	364.7/388.6	369.7/388.6	...	...
18"	450	...	...	422.0/457.2	429.1/457.2	434.9/457.2	...	...

Fuente: (Peñaranda, 2021).