

**REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN DISTRITO DE RIEGO A PEQUEÑA
ESCALA EN EL MUNICIPIO DE POTOSI - NARIÑO, EMPLEANDO SOFTWARE
DE SIMULACIÓN**

DARWIN EDUARDO NARVÁEZ LÓPEZ

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

2016

**REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN DISTRITO DE RIEGO A PEQUEÑA
ESCALA EN EL MUNICIPIO DE POTOSI - NARIÑO, EMPLEANDO SOTWARE
DE SIMULACIÓN**

DARWIN EDUARDO NARVÁEZ LÓPEZ
COD. 2072291

Trabajo de grado

DIRECTOR
John Alexander Segura Bolívar, Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
BOGOTÁ
2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

BOGOTA, / /2016

Espacio dedicatoria

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

En el municipio de Potosí, departamento de Nariño se construyó el distrito de riego a pequeña escala Yamuésquer, enfocado en el mejoramiento de las 110 hectáreas de cultivos. El Distrito de riego consta de: Bocatoma, Aducción, Desarenador, 21,287 Km de tubería PVC para la línea de conducción principal, ramales y acometidas; en diámetro de tubería que inicia en 8" y termina en 3/4", instalación de sistemas de control de 8", 6", 4" y 2", instalación de macro medidor y la construcción de dos cámaras de quiebre.

Se pretende con este proyecto y la ayuda de software EPANET Simular la red hidráulica del distrito de riego por aspersión de pequeña escala Yamuésquer ubicado en el municipio de Potosí Nariño, para verificar que la red de distribución funcione con normalidad y según los diseños presentados por el contratista Unión temporal Yamuésquer.

A través de este proyecto se identificó los puntos más vulnerables a fallas en situaciones de emergencia, que pudieran representar una caída de presión y afectación en el suministro y presiones adecuadas para el riego.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	13
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2.1 ALCANCE DEL PROYECTO	14
3. OBJETIVOS.....	15
3.1 OBJETIVO GENERAL	15
3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4. ANTECEDENTES.....	16
5. JUSTIFICACIÓN.....	21
6. METODOLOGIA	22
6.1 DISEÑO METODOLÓGICO	22
6.1.1 Fases de la Investigación	22
6.1.2 Periodo y lugar.....	27
6.1.3 Técnicas de Recolección de datos	27
6.1.4 Técnica de análisis de datos.....	27
6. MARCO TEÓRICO	30
6.1 DISTRITO DE RIEGO.....	30
6.1.1 Distritos de riego a pequeña escala.....	32
6.1.2 Métodos de riego	32
6.2 IMPORTANCIA EPANET	37
6.2.1 Componentes de la red en EPANET	39
6.2.2 Opciones de Cálculo en Epanet	40
7. MARCO NORMATIVO	42
8. MARCO CONTEXTUAL	43
8.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	43
8.1.1 Estratigrafía de la zona de proyecto	44
8.1.2 Climatología del proyecto.	44
8.1.3 Requerimientos de agua del cultivo	45
8.1.4 Eficiencias de la aplicación del riego	48
8.2 SISTEMA DE RIEGO PREDIAL.....	52

8.2.1 Cajilla Predial	52
8.2.2 Selección del Aspersor	53
8.2.3 Parámetros de riego	54
8.3 COMPONENTES BÁSICOS DEL DISTRITO	56
8.3.1 Bocatoma.....	56
8.3.2 Aducción	60
8.3.3 Desarenador	61
8.3.4 Conducción y redes de distribución.	64
7.2.5 Conducción principal.....	65
8.3.5 Válvulas ventosas.	68
8.3.6 Purgas	69
8.3.8 Cámaras de quiebre de presión.....	70
8.3.9 Accesorios.	71
8.3.10 Válvulas de corte y control.....	73
8.3.11 Sistemas de control y macro medidor.....	73
8.3.12 Pasos elevados	74
9. SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DISTRITO YAMUESQUER	76
9.1 Metodología.....	76
9.1.1 Recolección de información existente y en campo	76
9.1.2 Esquemmatización de la red.....	76
9.1.3 Simulación de la red y evaluación de los escenarios.....	77
9.2 Resultados	77
9.2.1 Características del distrito de riego empleado para la simulación	77
9.2.2 Esquemmatización de la red en Epanet	78
9.2.3 Modelación del escenario base	80
9.2.3.1 Calibración del modelo hidráulico	81
9.2.3.2 Análisis del escenario base Turno 1 y 2	84
9.2.4 Análisis de las velocidades	85
9.2.5 Modelación de los escenarios.....	86
10. CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFIA.....	92

LISTA DE TABLAS

Pág.

<i>Tabla 1. Antecedentes</i>	19
Tabla 2. Continuación Tabla 1 Antecedentes.	20
Tabla 3. Software especializado existente para simulación y análisis de sistemas de distribución de agua.	28
Tabla 4. Descripción de algunos programas utilizados para diseño y simulación de sistemas de distribución de agua.	28
Tabla 5 Normatividad vigente aplicable a proyectos que ejecutan distritos de riego.	42
Tabla 6. Parámetros climatológicos de la zona de influencia del proyecto distrito de riego por aspersión Yamuesquer.	44
Tabla 7. Coeficientes de cultivos permanentes (KC)	47
Tabla 8. Duración aproximada de la etapas durante el periodo vegetativo (dias)..	47
Tabla 9. Caudal y módulo de riego	50
Tabla 10. Caudal parcial y total por ramales para el distrito de riego Yamuesquer.	51
Tabla 11 Dimensiones canal de aducción	60
Tabla 12. Lista de tubería para conducción	65
Tabla 13. Red de distribución turno 1.	66
Tabla 14. Tubería red de distribución turno 2	66
Tabla 15. Ramales turno número uno.	67
Tabla 16. Tubería ramales turno dos.	67
Tabla 17. Ubicación ventosa.	68
Tabla 19. Ubicación válvulas purga.	70
Tabla 20. Lista de accesorios	72
Tabla 21. Ubicación sistemas control y macro-medidores.	74
Tabla 22. Ubicación pasos elevados	75
Tabla 23. Características de la red de distribución.	77
Tabla 24. Características de la red de distribución.	78
Tabla 25. Datos de calibración Turno 2	81
Tabla 26. Datos de calibración Turno 1	82
Tabla 27. Datos comparativos presiones	83

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Diagrama metodológico general del proyecto por actividades globales.	22
Figura 2. Diagrama metodológico fase 1 recolección de información y elección de software.	23
Figura 3 Diagrama metodología fase 2 recolección de información del proyecto	24
Figura 4. Diagrama metodología fase 3 de simulación	25
Figura 5 Pasos para la ejecución de la simulación en software especializado	26
Figura 6. Diagrama fase 4 de análisis de información	26
Figura 7. Esquema básico Riego por Aspersión.	33
Figura 8. Esquema Riego por surcos.	35
Figura 9. Esquema básico sistemas de Riego por Goteo	36
Figura 10 Entorno Epanet	38
Figura 11. Modelo de una red en el entorno del software de EPANET	40
Figura 12. Esquema general del distrito de riego Asoyamesquer.	58
Figura 13. Esquema básico componentes de la bocatoma	59
Figura 14. Fotografía de Bocatoma y caja de derivación cota K00+00.	59
Figura 15. Perfil canal de aducción.	61
Figura 16. Fotografía de la línea de aducción diámetro 8" y con refuerzo de concreto, tomado en la cota k0+015	61
Figura 17. Fotografía del Desarenador en funcionamiento cota de ubicación k0+015.	62
Figura 18. Esquema del desarenador con sus componentes.	63
Figura 19. Dimensiones del Desarenador.	63
Figura 20. Imagen de la Instalación de la tubería conducción principal ubicada en la cota inicial K0+015 hasta K2+866.	64
Figura 21. Conducción y redes de distribución.	64
Figura 22. Instalación de válvulas ventosas	68
Figura 23. Purgas	69
Figura 24. Fotografía Cámara de quiebre ubicada en la cota k6+660 hasta k0+957 conducción principal y ramal 4.	71
Figura 25. Accesorios	72
Figura 26. Sistema de corte y macro medidor	74
Figura 27. Pasos elevados. Instalación de estructura metálica para los pasos elevados soporte de la tubería de diámetro 8" y 6" k0+700 y k0+ 740	75
Figura 28 Esquemmatización General del distrito de riego Yamuesuquer la red en Epanet	79
Figura 29. Esquemmatización de la red del distrito de riego Yamuesuquer en Epanet Turno 1.	79
Figura 30. Esquemmatización de la red del distrito de riego Yamuesuquer en Epanet Turno 2.	80

Figura 31 Patrón de consumo escenario base	81
Figura 32 Resultados de la calibración en Epanet Turno 1	82
Figura 33 Resultados de la calibración en Epanet Turno 2	83
Figura 34. Perfil longitudinal de presión Tramo principal Turno 1	84
Figura 35. Perfil longitudinal de presión tramo principal turno 2.	84
Figura 36. Presiones Turno 2 Patrón de consumo 1.....	85
Figura 37.Distribución de las velocidades a la hora de mayor consumo	86
Figura 38. Continuación figura 38 Distribución de las velocidades a la hora de mayor consumo	86
Figura 39. Diferentes patrones de consumo	87
Figura 40. Presiones Hora 4:00 (patrón 1).....	87
Figura 41 . Presiones Hora 1:00 (patrón 0.9).....	88
Figura 42. Presiones Hora 3:00 (patrón 0.8).....	88
Figura 43.Rotura de tubería Escenario 2-Turno 1.....	89
Figura 44. Rotura de tubería Escenario 2-Turno 2.....	90

GLOSARIO

Aprovechamiento de agua: Uso del agua para que sirva de provecho

Distrito de adecuación de tierras-concepto. La delimitación del área de influencia de obras de infraestructura destinadas a dotar un área determinada con riego, drenaje o protección contra inundaciones; para los fines de gestión y manejo, se organizará en unidades de explotación agropecuaria bajo el nombre de Distritos de Adecuación de Tierras.

Conducción: Transporte del agua de una parte a otra. Rendimiento de [-]; sistema de [-]. Debe diferenciarse de la distribución y de la aplicación. Conjunto de conductos dispuestos para el paso del agua. No es sinónimo de conducto.

Optimación: Acción y efecto de optimar. [-] conforme a previsiones de demanda, en tiempo diferido, o en tiempo real. Preferible al término optimización.

Ramal de aspersión: Tubería sobre la que se disponen [aspersores / goteros], dispuesta, a su vez, sobre la tubería de alimentación, o por ramales.

Riego aspersión: Sistema caracterizado por ser aplicado mediante aspersores cuyas boquillas disponen de una presión relativamente alta proporcionada por una instalación de tuberías fijas o móviles.

1. INTRODUCCIÓN

El adecuado uso del recurso hídrico y su gestión son un factor esencial para elevar la productividad de la agricultura y asegurar una producción previsible. El agua es esencial para aprovechar el potencial de la tierra y para permitir que las variedades mejoradas tanto de plantas como de animales utilicen plenamente los demás factores de producción que elevan los rendimientos.¹

Elevar la productividad y garantizar el uso sostenible del recurso agua requiere del uso de tecnologías, la creación de prototipos, la puesta en marcha y la verificación de los sistemas de riego y almacenamiento.

“Por medio del riego son muchos los beneficios que se obtienen: aumento en la productividad y mejoramiento de la calidad de vida del campesino, generación de empleo, disminución de efectos de las heladas sobre los cultivos, reducción de la inestabilidad en los precios, entre otros.”²

En nuestro país se ha demostrado para diferentes cultivos que la implementación de estos sistemas de manera racional y sostenible permite el incremento de las producciones, siendo variable según las condiciones de cultivo, pero que usualmente se encuentra entre 30 y 50%, dependiendo de la especie vegetal.³

Hacer un uso más eficiente es posible con la realización de un diseño óptimo de los sistemas de riego, ya que de esta manera se puede determinar el comportamiento del fluido a lo largo de la zona de riego; el diseño se puede mejorar con la ayuda de software especializado como el EPANET puesto que permiten hacer un análisis detallado de toda la red, haciendo posible revisar parámetros como la presión, velocidad entre otros, y además permite hacer una representación de la topografía del terreno sobre el cual reposa la tubería.

En el presente documento se analiza con ayuda de la herramienta EPANET hidráulicamente el distrito de riego ubicado en el municipio de Potosí departamento de Nariño, con el objetivo de verificar la red de distribución y de ser posible se plantearán las soluciones pertinentes a las fallas encontradas. Este documento está organizado en 5 capítulos a través de los cuales se mostrara los antecedentes en el manejo de la herramienta EPANET, se conocerá las condiciones del distrito de riego a analizar, las condiciones de diseño con las cuales se planteó el distrito de riego, la simulación del distrito en la herramienta y por último los cálculos y recomendaciones que se den a lugar.

¹ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. El agua y la agricultura, 2002

² INSTITUTO COLOMBIANO DE DESARROLLO RURAL. Diseño y construcción de distritos de riego y drenaje a nivel nacional. 2012

³ ORJUELA, Heber. Distritos de riego en Colombia: una necesidad latente. <http://www.hidraco.co/blog-hidraco/distritos-de-riego-en-colombia-una-necesidad-latente> [Consulta: 1/04/16]

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Conscientes que el agua es considerada como un elemento estratégico no sólo por su escasez sino por su importancia en el desarrollo social, económico y ambiental la eficiencia del riego es clave para evitar su desperdicio. Con la necesidad de mejorar la productividad agrícola y ganadera en el departamento de Nariño específicamente en el municipio de Potosí, se llevó a cabo el contrato entre la Asociación “ASOYAMUÉSQUER” con La UNIÓN TEMPORAL YAMUÉSQUER, el día Veintisiete (27) de Mayo de 2014, cuyo objeto fue la Construcción del Distrito de Riego de Pequeña Escala Yamuésquer.

El plan agropecuario del distrito de riego estaba enfocado en el mejoramiento de las 110 hectáreas a irrigar con el fin de mejorar los pastos y los cultivos de rotación, acompañado de la tecnología de producción adecuada, con el propósito de que los cultivos tengan garantías a lo largo de su vida productiva.

Teniendo en cuenta que el distrito se construyó con el fin de aumentar la productividad agrícola enfocada en la optimización del recurso hídrico, el mejoramiento de la calidad de vida del campesino, disminución de efectos de las heladas es importante realizar la siguiente pregunta:

¿Cómo se puede verificar que el distrito de riego a pequeña escala Yamuésquer funcione de manera eficiente para suplir los requerimientos necesarios en cultivos de productos agrícolas de una comunidad ubicada en una zona de alta montaña, en el municipio de Potosí, Nariño?

2.1 ALCANCE DEL PROYECTO

Este proyecto de investigación pretende simular con la ayuda de software especializado, la red de distribución del distrito de riego Yamuésquer ubicado en el municipio de Potosí en el departamento de Nariño.

La simulación se realiza con el fin de analizar la presión a lo largo de la red, vigilando que cumpla los requisitos mínimos y máximos exigidos por la normatividad, con esto no se pretende dar pautas para optimizar el sistema ya que este trabajo tiene fines académicos.

Este trabajo podrá ser utilizado como una guía para la evaluación de otros sistemas de riego por aspersión a través de software especializado.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Simular la red hidráulica del distrito de riego por aspersión de pequeña escala Yamuésquer ubicado en el municipio de Potosí Nariño, con la ayuda de software especializado para verificar que la red de distribución funcione adecuadamente y según los diseños presentados por el contratista Unión temporal Yamuésquer.

3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ♦ Representar en su totalidad mediante el software especializado, el distrito de riego por aspersión, de acuerdo con las propiedades técnicas, hidráulicas, y topográficas presentadas en el diseño.
- ♦ Realizar el análisis de la presión a lo largo de la red, vigilando que cumpla los requisitos mínimos y máximos exigidos por la normatividad vigente y comprobar que las cámaras de quiebre y demás accesorios estén ubicados adecuadamente.
- ♦ Comparar los datos obtenidos con el software elegido y los resultados obtenidos en el proyecto ya construido según las observaciones realizadas por el contratista Unión Temporal Yamuésquer.

4. ANTECEDENTES

A continuación se presentan los trabajos más relevantes de una revisión de investigaciones relacionadas con el objeto de estudio. Los reportes consultados son trabajos recientes, con menos de diez años de realización. Para la selección de los documentos se tuvo en cuenta que en ellos se tratara temas como el diseño de un sistema de riego, la utilización de algún modelo de simulación para diseñar suministro de agua, que se describan los beneficios de la simulación previa o post construcción de los sistemas de riego, para crear con ellos una base de información previa a este trabajo.

En este sentido se destaca el documento presentado en 2006, mediante la modalidad de Tesis de grado para la Universidad la Salle denominado “Estudio de factibilidad del distrito de riego para el municipio de Nemocón” en el cual se plantean como objetivo, establecer la facilidad que tienen la construcción de un distrito de riego en el municipio de Nemocón para subsanar la necesidad que tiene los agricultores de incrementar la producción agrícola.⁴

Este documento se destaca ya que en él se estudia la factibilidad de un sistema de riego y la importancia de su construcción para la agricultura, aunque no se utiliza un modelo de simulación para ello, se encuentran detalles del análisis de los parámetros que determinan la factibilidad y eficiencia del sistema.

En cuanto a documentos en los cuales se estudie la utilización de modelos de simulación para mejorar la eficiencia del sistema de riego destacamos el documento presentado en 2012 a la Universidad Politécnica de Valencia, denominado “Diseño óptimo de un sistema de riego a presión y su eficiencia hidroenergética aplicación en el caso de Loja Ecuador” como requisito para optar al título de master en ingeniería hidráulica, en este trabajo la autora Lapo Carmen, plantea como objetivo de investigación desarrollar una metodología para el diseño óptimo de redes abiertas de riego a presión funcionando por turnos, a través de encontrar la combinación de hidrantes, óptima para cada turno que se encuentre asignado en los nódulos, de modo que se obtenga la solución más económica; para el cumplimiento de este objetivo el autor propone una metodología sistemática, que combina dos técnicas a través de métodos híbridos fusionando la programación lineal, dinámica y algoritmos⁵.

Este trabajo muestra de manera puntual en un caso de estudio los beneficios de la modelación de un sistema de riego al permitir mejorar la eficiencia del sistema,

⁴CASTRO, Camilo y ZANCHES, María. Estudio de factibilidad del distrito de riego para el municipio de Nemocón. Tesis de grado para optar al Título de ingeniero civil, Bogotá D.C : Universidad la Salle, Octubre de 2006.184 p

⁵LAPO, Carmen. Diseño óptimo de un sistema de riego a presión y su eficiencia hidroenergetica aplicación en el caso de Loja Ecuador. Tesis para optar al título de magister en ingeniera hidráulica. España. Universidad politécnica de Valencia. 2012. 244p.

caudales en líneas, presiones en nudos y velocidades de flujo, en este caso no se utiliza el software de Epanet para la simulación, pero permite observar detalladamente los beneficios de realizar una simulación con relación a la eficiencia del sistema, además de presentar la metodología paso a paso para realizar simulaciones de redes de suministro de agua.

El uso de Epanet y sus beneficios como herramienta de simulación se evidencia en el documento “Diseño hidráulico de redes a presión en los sistemas de riego, empleando un modelo matemático” ⁶ elaborado como requisito para optar al título de magister en ciencias hidráulicas, en este documento el autor Porfirio Cornelio se propone como objetivo aumentar la eficiencia del uso del agua utilizada en el riego, a través del diseño hidráulico óptimo de una red cerrada de distribución en un sistema de riego en México.

En esta tesis, el autor encontró que al aplicar el diseño hidráulico con Epanet 2.0 en un sistema de riego a presión, se tiene una mejor eficiencia en el uso del agua en un 70 %, además de que se pueden proponer diversas alternativas de diseño; es decir, se puede cambiar la fuente de abastecimiento en la red y con la utilización del modelo matemático se obtienen los diámetros óptimos de diseño, así este trabajo tuvo la finalidad de contribuir con el mejoramiento de los diseños hidráulicos de los sistemas de riego a presión.

De los trabajos que se han desarrollado en Colombia y que evidencia el uso de Epanet se destaca el trabajo “Diseño de la red de distribución de un mini-distrito de riego para los corregimientos la palma y tres puertas, municipio de Restrepo (Valle del Cauca)” ⁷ los autores presentan la metodología que ejecutaron para el diseño de un minidistrito para 332 usuarios, orientados en los aspectos técnicos, sociales, ambientales y económicos.

En este trabajo se destaca el uso de Epanet como herramienta de simulación para elegir el método adecuado de aspersión, muestran la versatilidad del programa para elegir los parámetros ideales para la zona de estudio, permitiendo así elegir el mecanismo de aspersión ideal que minimice los costos.

Los trabajos mencionados permiten visualizar las ventajas de la utilización de software en el diseño de sistemas de riego, pues permiten al diseñador integrar diferentes variables al diseño para lograr la eficiencia deseada, cumplir los límites de presión, velocidad requerida por el usuario y la demanda en el tiempo.

Dadas las características del software para mejorar el diseño de redes de suministro de agua y los beneficios que se observan en los diferentes trabajos

⁶ PONCE, Porfirio. Diseño hidráulico de redes a presión en los sistemas de riego, empleando un modelo matemático. Tesis Maestría de ciencias en hidráulica. México DF. Instituto Politécnico Nacional ,2009.

⁷AGUDELO, Leydi y PINO, Viviana. Diseño de la red de distribución de un mini-distrito de riego para los corregimientos la palma y tres puertas, municipio de Restrepo (valle del cauca). Tesis para optar al título de ingeniero agrícola. Colombia. Universidad del Valle. 2012. 94p.

revisados para este aparte de antecedente, se observa que este software puede probarse como herramienta para validar un sistema ya construido y proponer de ser necesario adecuaciones.

A continuación se presentan los documentos antecedentes para la ejecución de este proyecto.

Título	Autores	Año	Palabras claves	Objetivo general
Distrito de riego para un sistema de rotación	Víctor Raúl Neira, Miguel Arturo mantilla	1976	Distrito de riego, sistema de rotación, departamento del Tolima, tecnificación de tierras, canales	Tecnificación de tierras aptas para la agricultura y la ganadería,
Sistema de medición en distritos de riego	Juan Manuel Casa Cárdenas	1980	Sistemas de medición, Distrito de riego, red de distribución, clasificación de mediciones, valle de Zamaca	Realizar una evaluación precisa y detallada de los parámetros que se incluyen en un estudio hidrológico.
Diseño de pequeños sistemas de riego por aspersión en ladera	Michael Anten, Has Willet	2000	Sistema de riego, diseño, factibilidad, uso eficiente, pequeña escala	Este documento pretende elaborar una guía para el diseño de sistemas de riego mejorados que aprovechen los
Calibración de un modelo hidrológico aplicado en el riego tecnificado por gravedad.	Laurencio Razano - Luis Rendón Pimentel	2001	Calibración, hidrológico, riego tecnificado por gravedad.	Comparar la tecnología de riego tradicional con una tecnificada
Estudio de factibilidad del distrito de riego para el municipio de Nemocón	Camilo A. Castro Moreno	2006	Aspersor, captación, clima, cuenca, deforestación, drenaje, erosión, estrato, irrigación, litología, pre imitación riego, topografía.	Establecer la facilidad que tienen la construcción de un distrito de riego en el municipio de Nemocón para subsanar la necesidad que tiene los agricultores de incrementar la producción agrícola.

Tabla 1 . Antecedentes

Título	Autores	Año	Palabras claves	Objetivo general
Distrito de riego para un sistema de rotación	Víctor Raúl Neira, Miguel Arturo mantilla	1976	Distrito de riego, sistema de rotación, departamento del Tolima, tecnificación de tierras, canales	Tecnificación de tierras aptas para la agricultura y la ganadería,
Sistema de medición en distritos de riego	Juan Manuel Casa Cárdenas	1980	Sistemas de medición, Distrito de riego, red de distribución, clasificación de mediciones, valle de Zamaca	Realizar una evaluación precisa y detallada de los parámetros que se incluyen en un estudio hidrológico.
Diseño de pequeños sistemas de riego por aspersión en ladera	Michael Anten, Has Willet	2000	Sistema de riego, diseño, factibilidad, uso eficiente, pequeña escala	Este documento pretende elaborar una guía para el diseño de sistemas de riego mejorados que aprovechen los
Calibración de un modelo hidrológico aplicado en el riego tecnificado por gravedad.	Laurencio Razano - Luis Rendón Pimentel	2001	Calibración, hidrológico, riego tecnificado por gravedad.	Comparar la tecnología de riego tradicional con una tecnificada
Estudio de factibilidad del distrito de riego para el municipio de Nemocón	Camilo A. Castro Moreno	2006	Aspersor, captación, clima, cuenca, deforestación, drenaje, erosión, estrato, irrigación, litología, pre imitación riego, topografía.	Establecer la facilidad que tienen la construcción de un distrito de riego en el municipio de Nemocón para subsanar la necesidad que tiene los agricultores de incrementar la producción agrícola.

Tabla 1. Antecedentes

Tabla 2. Continuación Tabla 1 Antecedentes.

Título	Autores	Año	Palabras claves	Objetivo general
Diseño, dimensionado y análisis de Riego a Presión , un manual para sacar partido a ambas aplicaciones RG y EPANET	Jaime Arvizu Valverde	2007	Epanet, usos RG	Elaborar una guía de manejo de los programas
Diseño hidráulico de redes a presión en los sistemas de riego, empleando un modelo matemático.	Porfirio Cornelio Ponce García	2009	Diseño, distrito, Epanet	Eficientar el uso del agua utilizada en el riego, a través del diseño hidráulico óptimo de una red cerrada de distribución en un sistema de riego
Diseño de la red de distribución de un mini distrito de riego para los corregimientos la palma y tres puertas, municipio de Restrepo (valle del cauca)	Leidy Johana Agudelo Moreno, Viviana pino manquillo	2012	Corregimientos de la palma y tres puertas, abastecimiento de agua rural	Diseñar la red de distribución de un sistema de pequeña irrigación, orientado en los aspectos técnicos, sociales, ambientales y económicos; en los corregimientos de la palma y tres puertas
Diseño óptimo de un sistema de riego a presión y su eficiencia hidra energética aplicación en el caso de Loja ecuador	Lapo pauta Carmen Mireya	2012		Calibración de un modelo hidrológico aplicado en el riego tecnificado por gravedad.
Diseño de un sistema de riego a través del programa Wcadi y comparación de resultados con el diseño manual del mismo	Salvador yeso	2013	Ssoftware, eficiente, métodos, herramienta	Realizar el diseño de un sistema de riego de la zona "la saucedá" para cultivo de fresa, en el distrito de riego 061 Zamora, Michoacán, utilizando el software Wcadi y comparar los resultados de la conducción con los
Modelo de Gestión de Desempeño Individual a un Distrito de Riego	María del Carmen Vásquez Torres	2014	Conagua, Distrito de Riego, tecnificar, usuario de riego, uso sustentable.	Diseñar un Modelo de gestión integral de desempeño Individual que permita alcanzar el desempeño organizacional planteado por el

5. JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso de primera necesidad para el desarrollo de las comunidades, no obstante, la construcción eficiente de mecanismos que permitan distribuir el líquido hasta la acometida es igual de importante, ya que, a la salida de la acometida se le da el uso final al fluido.

Sin embargo, diseñar sistemas que cumplan con los requisitos exigidos por la demanda y la normatividad resulta en algunos casos una tarea de magnitud épica, por tal motivo en este documento se pretende realizar el análisis de la red de distribución de agua del proyecto denominado Asoyamuesquer en el municipio de Potosí Nariño, considerando que dicho proyecto pretende generar un foco de desarrollo a un total de 113 suscriptores que abarcan un total de 110 Hectáreas.

El análisis y simulación de la red se hará en el software EPANET Versión 2.00.12 esto teniendo en cuenta las bondades que presenta el software en cuanto al análisis que permite realizar este simulador, debido a que los resultados se pueden presentar de diferentes maneras como lo son tablas, gráficos y diagramas, entre otros, algunos ejemplos de los resultados que arroja el software, EPANET ha sido probado en el desarrollo de diversos proyectos de ingeniería, por lo cual se cuenta con respaldo de que los resultados obtenidos son muy próximos a la realidad.

Haciendo uso de la información disponible del proyecto se creará el modelo en el software para analizar presiones y velocidades en la tubería, para determinar si existen zonas críticas que deban ser replanteadas o incluso a las que se les deba añadir algún otro accesorio especial.

6. METODOLOGIA

6.1 DISEÑO METODOLÓGICO.

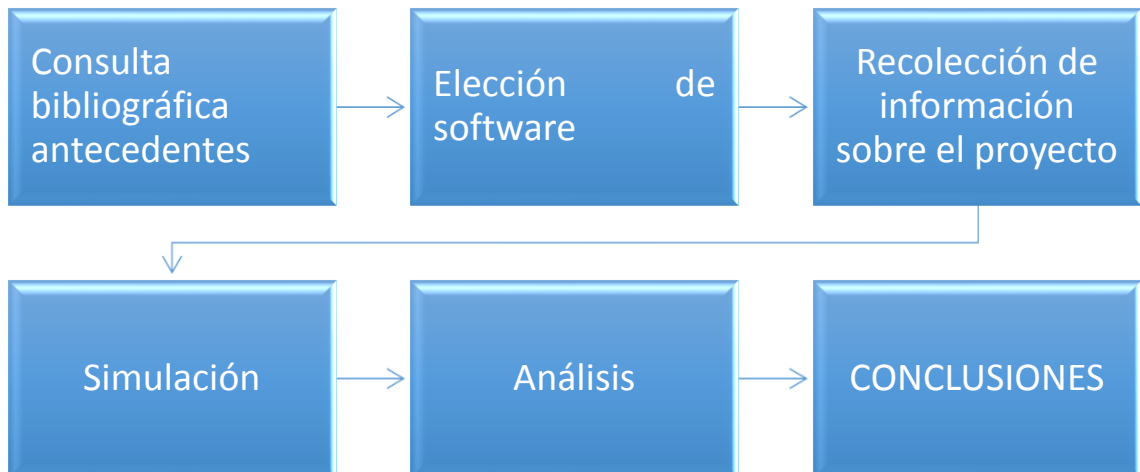
La investigación científica se concibe como un conjunto de procesos sistemáticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno; es dinámica, cambiante y evolutiva. Se puede manifestar de acuerdo a los tipos de datos analizados de tres formas: cuantitativa, cualitativa y mixta, esta última implica combinar las dos primeras. Cada una es importante, valiosa y respetable por Igual.⁸

Este proyecto se elaboró en la modalidad de aplicación a temas de ingeniería civil, está diseñado bajo la metodología de investigación tipo cuantitativa; dado que el enfoque cuantitativo es el que utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, confía en la medición numérica y el conteo.

6.1.1 Fases de la Investigación.

En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo general de este proyecto, se describen las actividades globales que se deberán realizar para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Figura 1. Diagrama metodológico general del proyecto por actividades globales.



⁸ HERNANDEZ, Sampieri. Et, al. Metodología de la investigación. México D.F. 2006: McGraw-Hill Interamericana. P.

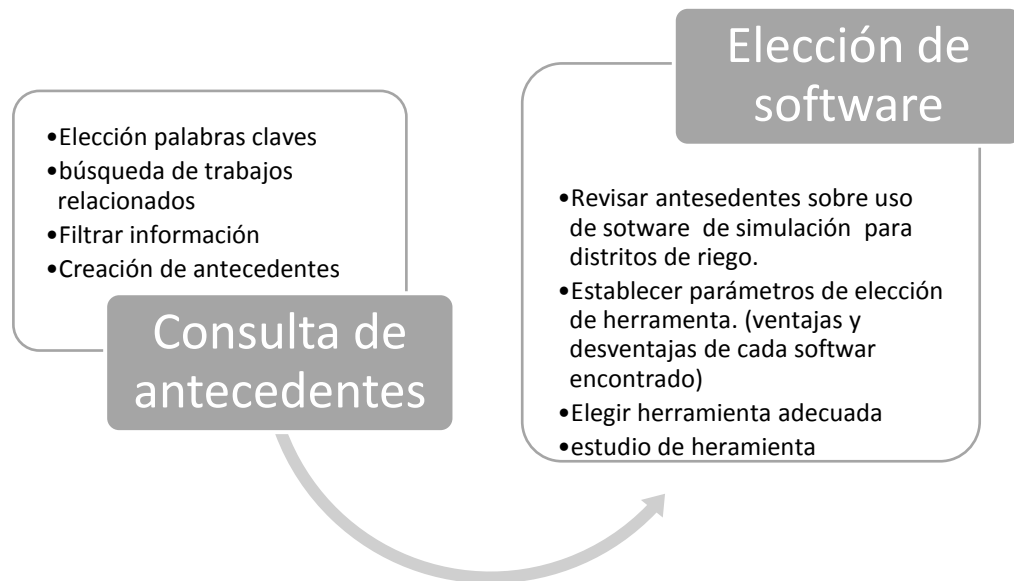
Este trabajo está diseñado en cinco fases enfocadas en el cumplimiento de los objetivos, a continuación se detalla cada una de ellas.

♦ **Recolección de la información teórica y elección software.**

Con esta fase se pretende recolectar toda la información teórica relacionada con este tipo de proyecto y principalmente información sobre software especializado que permita la simulación de un distrito de riego por aspersión.

Los pasos realizados en esta fase se ilustran En la Figura 2 a manera de diagrama, el cual presenta las actividades que permiten recolectar toda la información pertinente.

Figura 2. Diagrama metodológico fase 1 recolección de información y elección de software.



♦ **Recolección de información del proyecto.**

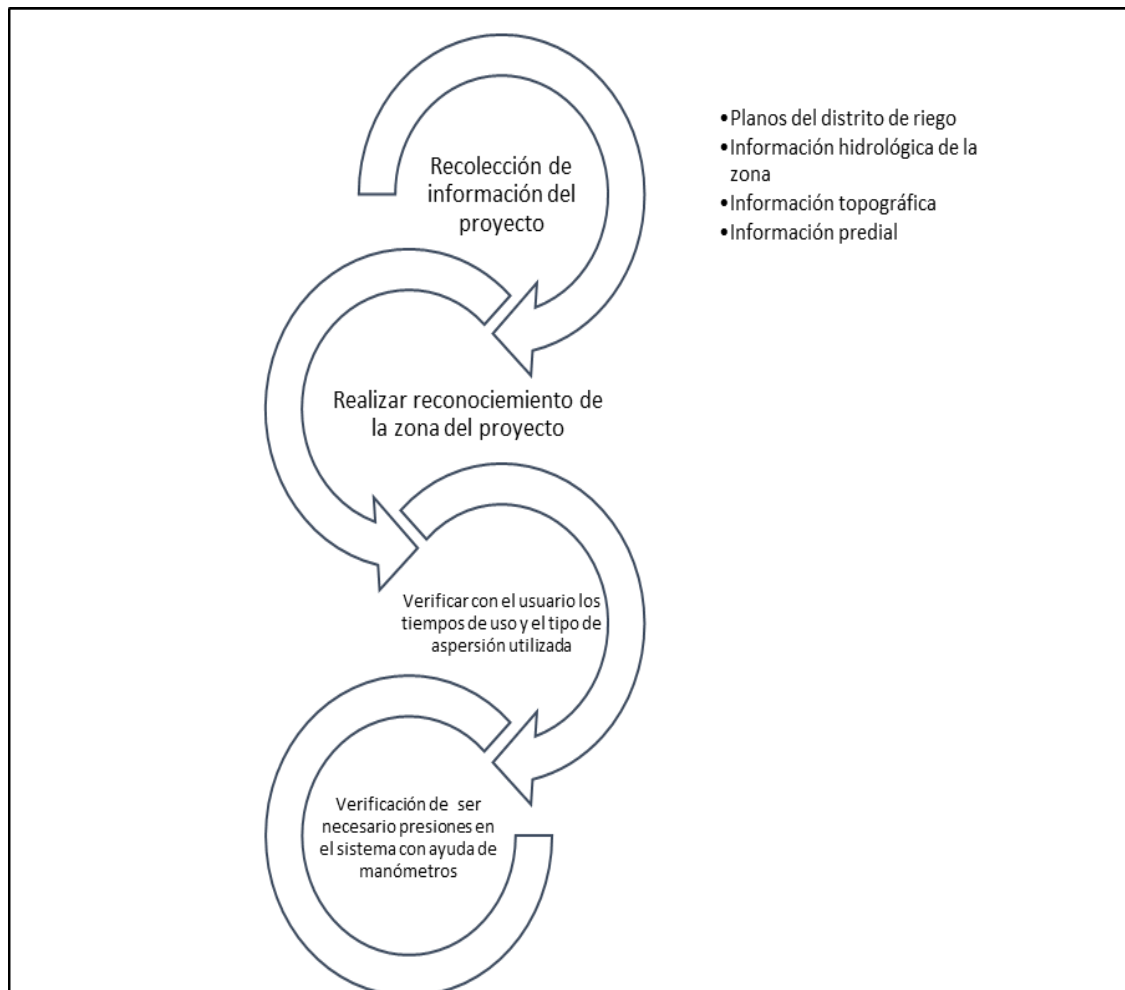
Esta fase busca conocer directamente el proyecto y recolectar la información relativa al proyecto, para ello se desarrollaran las siguientes actividades. En la Figura 3 se muestra el diagrama de esta fase.

- Hacer contacto con el contratista de la obra y la asociación para solicitar: estudios preliminares, concesión de aguas, aspectos productivos de la zona, caracterización geológica, estudios hidrológicos

y climáticos, información existente sobre topografía incluyendo planos, descripción del sistema de riego existente entre otros.

- Realizar un recorrido desde la fuente de abastecimiento hasta el usuario observando los componentes más importantes del sistema (bocatoma, desarenador, cámaras de quiebre).
- Verificar con el usuario los tiempos de uso y el tipo de aspersión utilizada.
- Verificación de ser necesario presiones en el sistema con ayuda de manómetros.

Figura 3 Diagrama metodología fase 2 recolección de información del proyecto



♦ Simulación

En la Figura 4 se puede visualizar el diagrama general de esta fase, en la cual se pretende preparar la información y realizar la simulación en la herramienta

escogida y en la *Figura 5* se presenta los pasos generales para realizar la simulación de un distrito de riego por aspersión en un software especializado.

Figura 4. Diagrama metodología fase 3 de simulación

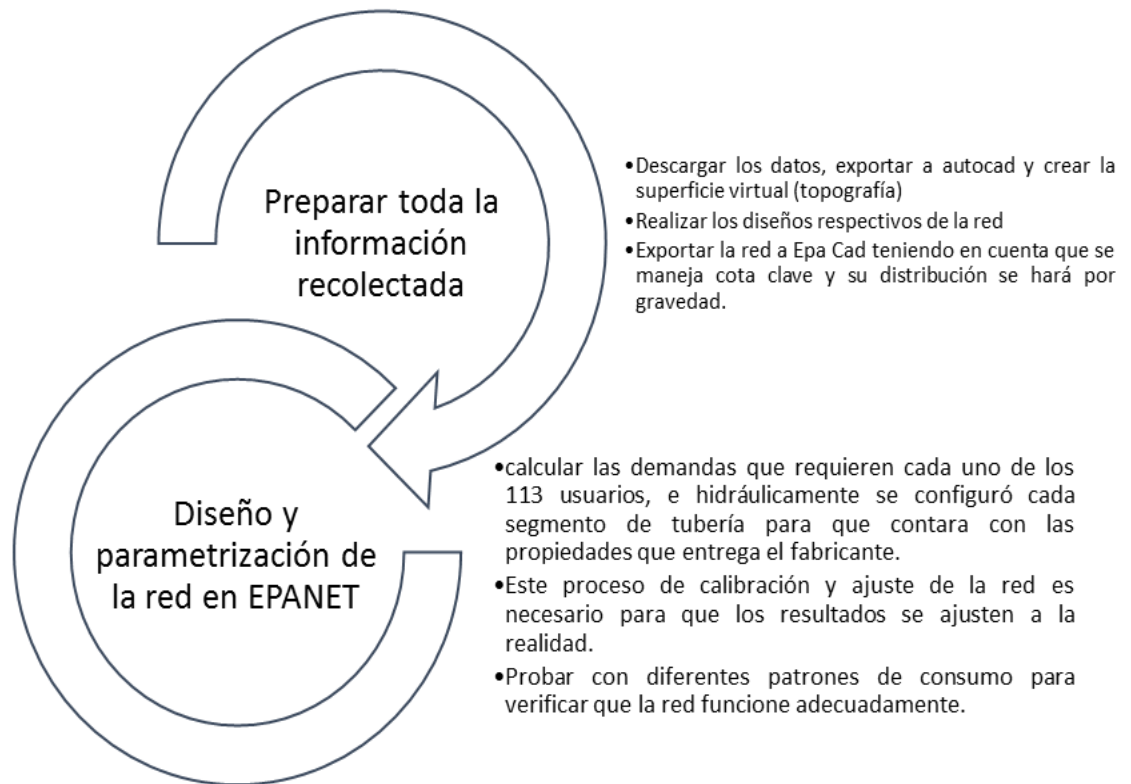
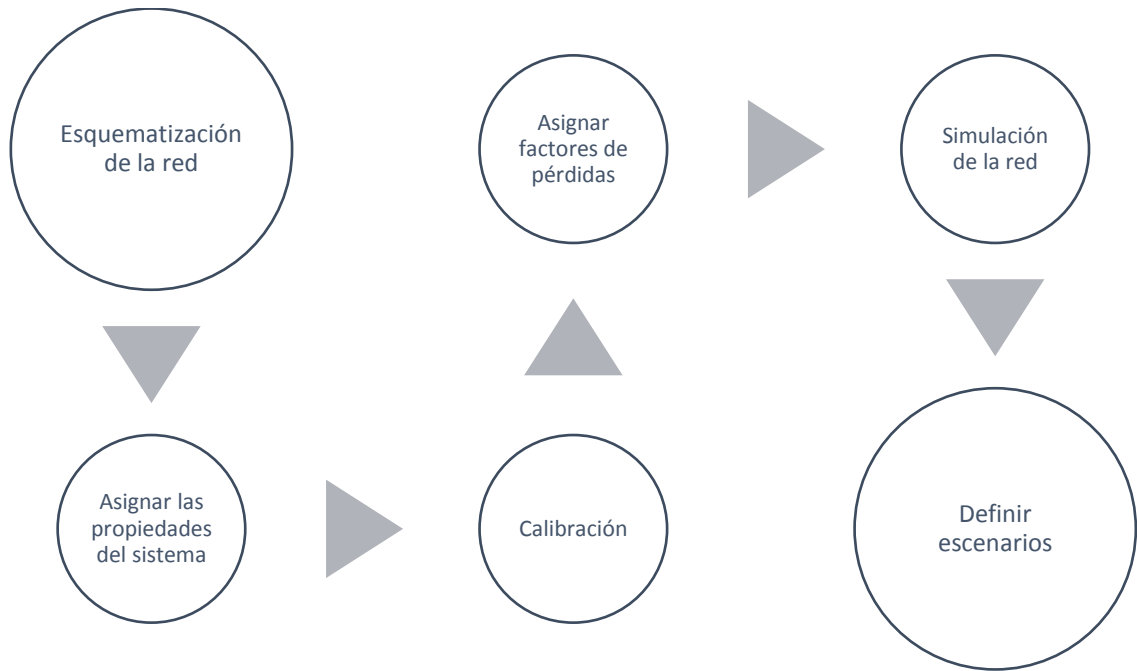


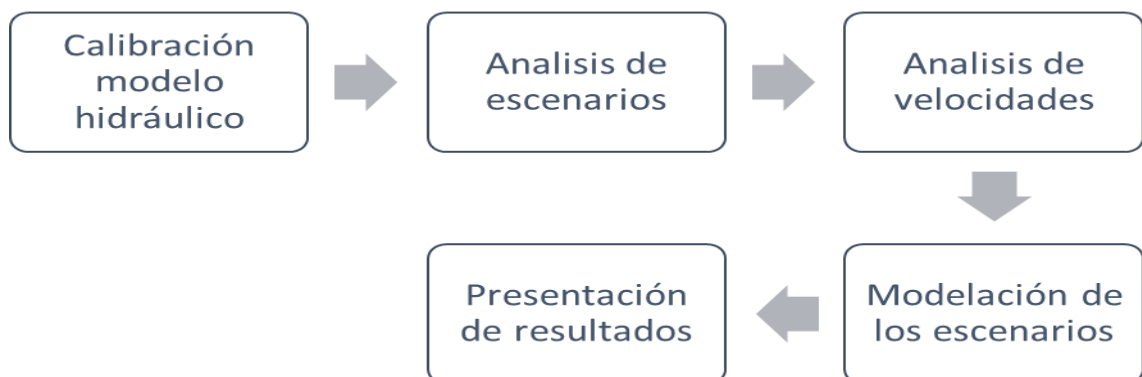
Figura 5 Pasos para la ejecución de la simulación en software especializado



- ♣ Análisis y comparación de los resultados con EPANET contrastados con los datos en campo.

En la Figura 6 se presenta el diagrama para la fase de análisis de información con el Software especializado.

Figura 6. Diagrama fase 4 de análisis de información



6.1.2 Periodo y lugar

Para efectos de esta investigación el lugar sobre el cual se ejecutan y extraen datos es sobre el área geográfica del Distrito de riego de pequeña escala Yamuésquer, ubicado en el municipio de Potosí departamento de Nariño, con un área de irrigación de 113 hectáreas y una población beneficiada de 113 usuarios pertenecientes a la asociación Asoyamuesquer.

El tiempo de ejecución de este trabajo se estima de ocho meses, iniciando con el periodo de muestreo, recolección de datos que corresponde a 4 meses en el área de trabajo y finalizando con el periodo de análisis de la información, puesta en marcha de las simulación en el programa de EPANET y comparación que corresponde a un tiempo de 4 meses.

6.1.3 Técnicas de Recolección de datos

La obtención de datos para este proyecto se realizara bajo el enfoque de recolección directa en campo, además se tomaran como fuentes de información los datos que se pueda recolectar a través de:

- ♦ El contratista de la obra que para este proyecto fue Unión temporal Yamuésquer en cabeza de su representante legal el señor Luis Andrés Jurado.
- ♦ La Asociación de usuarios del distrito de riego a pequeña escala ASOYAMUESQUER.

Chequeo de presiones en el sistema existente: para ello se utilizaran los manómetros que fueron instalados por Unidad Temporal. Asoyamuesquer a lo largo del sistema.

Los aspectos demográficos y necesidades a abastecer se solicitaran a la empresa encargada de la construcción del distrito Unidad temporal. Asoyamuesquer, puesto que en los pliegos desarrollados para la contratación de la obra ya se encontraban los estudios y la viabilidad ejecutada por el INCODER.

6.1.4 Técnica de análisis de datos.

Para definir la técnica utilizada en el análisis de datos fue necesario correr con la fase 1 de esta metodología, que corresponde al análisis bibliográfico sobre software utilizado para simulación de distritos de riego. A continuación se presenta en la *Tabla 3* un resumen de los principales programas de cómputo para simulación y análisis de sistemas de distribución de aguas, en ella se muestra la finalidad del software y el tipo de licencia.

Tabla 3. Software especializado existente para simulación y análisis de sistemas de distribución de agua.

Software	Finalidad	Tipo de licencia
EPANET	Simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución a presión.	Libre
GESTAR	Redes de distribución colectivas y sistemas de aplicación del riego en parcela.	Necesita licencia para proyectos extensos
WCADI	Diseño hidráulico, dimensiona y optimiza tuberías principales y secundarias en redes abiertas o cerrada.	Presenta restricciones
IRRICAD	Sistemas de riego o de abastecimiento de agua a presión.	comercial
WaterCAD	Es un software comercial de análisis, modelación y gestión de redes a presión	comercial

En la Tabla 4 se presenta una breve descripción de las ventajas que presentan los programas de Epanet Gestar y Wcadi en la simulación de sistemas de distribución de agua.

Tabla 4. Descripción de algunos programas utilizados para diseño y simulación de sistemas de distribución de agua.

WCADI	EPANET 2.0	GESTAR
No existe límite en cuanto al tamaño y el tipo de la red	No existe límite en el tamaño de la red	Integración de módulos de optimización, análisis hidráulico y energético en un mismo entorno
Las pérdidas de carga se calculan con Hazen-Williams Darcy-Weisbach o de Chezy-Manning.	Las pérdidas de carga se calculan con Hazen-Williams Darcy-Weisbach o de Chezy-Manning.	Elevadas prestaciones de optimización para redes ramificadas
Considera pérdidas localizadas de piezas y accesorios	Contempla pérdidas menores	

Optimiza redes secundarias en los sistemas de riego localizado tomando en cuenta la presión y gasto del emisor	Admite bombas de velocidad fija o variable.	Disponibilidad de bases de datos: Para tuberías, válvulas, pérdidas singulares, aspersores, ramales de goteo, fluidos, tarifas eléctricas, bombas
	Permite considerar varios tipos de válvulas	
	Admite depósitos de geometría variable	
Permite considerar diferentes tipos de demanda en los nodos, por lo tanto, revisar varios escenarios para la operación de la red.	Considera diferentes tipos de demanda en los nudos	Utiliza el estándar ACCESS como intermediario de comunicación, con todo tipo de sistemas CAD/GIS o programas terceros, a lo que se unen utilidades para la comunicación bidireccional con AutoCAD
	Determina el consumo energía y sus costos.	
	Permite modelar tomas de agua cuyo caudal depende de la presión	Requiere licencia para proyectos extensos
Optimiza el diseño de las redes principales	Admite leyes de control simples	

Teniendo en cuenta las ventajas que brindan los diferentes programas, los resultados esperados de este proyecto y los datos presentados en la Tabla 3 y la Tabla 4 a continuación se resumen los programas que se utilizarán para el análisis de datos considerando las características de este proyecto y las necesidades del mismo.

- AutoCAD⁹: Para la creación, visualización de los datos obtenidos en campo y los suministrados por el contratista referente a la topografía.
- EpaCAD¹⁰: herramienta que permite la exportación de ficheros de AutoCAD para ser interpretados por Epanet.
- Microsoft office Excel¹¹: para la corrección de algunas imprecisiones que se puedan presentar por la exportación de Epanet a AutoCAD
- Epanet¹²: este programa permitirá Realizar una simulación de todos los parámetros de tiempo y de accesorios de la red, permitiendo así realizar un análisis de su funcionamiento.

Solo en el caso de AutoCAD se requiere una licencia privada para su utilización; EpaCAD y Epanet se encuentran libres y no requieren de licencias privadas, en el caso de Microsoft Excel aunque requiere de licencia privada, este al ser una herramienta del paquete de office no se exige la compra de una licencia específica pues viene incluido en los programas básicos de los equipos de cómputo.

⁹ Software privativo, requiere licencia <http://www.autodesk.es/autocad>

¹⁰ Programa de dominio público y es desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

¹¹ Programa de aplicación distribuida por la suite de oficina Microsoft Office, requiere licencia privada.

¹² Programa de dominio público y es desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 DISTRITO DE RIEGO.

Se entiende como distrito de riego a una área directamente influenciada por las obras de infraestructura de regulación hídrica, riego, drenaje (protección contra inundaciones) que benefician al conjunto de predios o explotaciones agropecuarias allí existentes.¹³

Los sistemas de riego en el país han sido, desde el siglo XX, una parte fundamental del desarrollo agropecuario y rural. En la actualidad, el 90% de la superficie agrícola de Colombia es regada por medio de estos sistemas, de los cuales el 61% ha sido desarrollado y manejado por el sector privado según lo asegura un estudio de la Organización para la Alimentación y la Agricultura, FAO, el cual también afirma que entre 1991 y 1997 se invirtieron en el país cerca de USD\$19'000.000 en el desarrollo de esta tecnología.¹⁴

La importancia de los distritos de riego en Colombia se deriva de la importancia de optimizar el recurso hídrico ya que “De acuerdo con las estimaciones del IDEAM, la demanda total de agua en Colombia en el año 2010 fue de 35.877 Mm3/año, correspondientes al uso del agua en los siguientes sectores: Doméstico 7.3%, Agrícola 54%, Energía 19.4%, Acuícola 7.2%, Pecuario 6.2%, Industria 4.4% y Servicios 1.5%.”¹⁵ Es decir que el uso agropecuario es el principal consumidor de agua por lo tanto es necesario crear propuestas para optimizar el recurso y contribuir a la sostenibilidad del mismo.

Es importante recordar que el recurso hídrico en el país corresponde al 10% del PIB y que la contaminación por los diferentes renglones de la economía en el recurso hídrico asciende cerca del 3.5% del PIB.”¹⁶

Los distritos de riego como solución a la optimización del recurso hídrico se pueden clasificar en tres categorías según el área de cobertura que posee el distrito, siendo estas las tres categorías dispuestas por el INCODER: “pequeña escala (Proyectos con una extensión total de hasta 500 hectáreas); mediana escala (proyectos con una extensión total entre 500 y 5 000 hectáreas), y gran escala (proyectos con una extensión total superior a 5 000 hectáreas)”.¹⁷

¹³ INSTITUTO COLOMBIANO DE DESARROLLO RURAL. La adecuación de tierras y su contribución a la estrategia de desarrollo rural territorial [diapositivas]. 2012, 25diapositivas, color.

¹⁴ Contexto ganadero. Bogotá D.C 25, Febrero, 2013. [en línea] <http://www.contextoganadero.com/reportaje/sistemas-de-riego-beneficio-clave-para-el-agro-colombiano>

¹⁵ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Uso Eficiente y Ahorro del Agua [en línea] <<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1449:plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-34>> [Consulta: 20/12/15]

¹⁶ *Ibíd.*, p. 10.

¹⁷ *Ibíd.*, p.10.

Según el INCODER¹⁸ en la ficha 6.2.3 Análisis Diseño y Construcción de Distritos de Riego y Drenaje a Nivel Nacional, El costo de un proyecto de pequeña irrigación está formado por el valor de los siguientes conceptos: estudio y diseño, terrenos utilizados para la construcción de las obras, servidumbres de servicio colectivo, las obras construidas, los servicios de interventoría, la mano de obra, los equipos instalados, el valor de los intereses aplicables a los recursos invertidos por el estado y una parte del costo de protección y recuperación de la micro cuenca que abastece de agua al proyecto.

“El agua bien sea sacada de la superficie o de fuentes subterráneas, deben ser transportadas a la comunidad y distribuida a los usuarios. El transporte desde la fuente al punto de tratamiento puede ser proveído por acueductos, tuberías o canales abiertos, pero una vez ha sido tratada, el agua es distribuida mediante conductos cerrados presurizados.”¹⁹ “El trazado de las redes a presión en los sistemas de riego, constituye una de las etapas clave en el desarrollo de un proyecto ya que, de él, depende buena parte de la economía financiera del sistema y sobre todo la operación futura de la zona.”²⁰

“La red de distribución es un ente complejo en sus aspectos de gestión, y que conlleva muchas implicaciones sociales (especialmente relacionadas con la calidad de suministro y estado del bienestar) a la vez que medioambientales por lo que supone de consumo de recursos y energía. Incluso para redes sencillas, se hace necesario disponer de un modelo de simulación bien ajustado a la realidad como herramienta de trabajo.”²¹

Se distinguen dos sistemas de irrigación como lo son: el riego a pequeña escala y gran escala. El sector de riego a pequeña escala se desarrolla en las zonas de ladera, donde se cultiva especialmente maíz, papa y hortalizas; en estas áreas la técnica de siembra no está bien desarrollada, lo que dificulta la implementación de tecnología avanzada; en este sector tradicional forman parte los pequeños agricultores con un alto nivel de analfabetismo y de escasos recursos económicos. El sector que comprende el riego a gran escala, corresponde a las grandes industrias situadas en las áreas planas y con grandes retribuciones económicas, este sector está ligado a cultivos comerciales, como la caña de azúcar, algodón,

¹⁸ PORTAL DE ALCALDES Y GOBERNADORES DE COLOMBIA. Análisis Diseño y Construcción de Distritos de Riego y Drenaje a Nivel Nacional (Fondo Nacional de Adecuación de Tierras) [en línea] <<http://www.portalterritorial.gov.co/moi.shtml?apc=zax;x;x;x-73395&x=84406> [Consulta: 2/02/16]

¹⁹ JAIME ROA, Pedro. Diseño: acueducto vereda el retiro (municipio de Santa María, Boyacá). Bogotá, 2008, 229 h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Civil. Disponible en: <<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15298/T40.08%20199d.pdf?sequence=2>>

²⁰ PONCE GARCIA, Cornelio. Diseño hidráulico de redes a presión en los sistemas de riego, empleando un modelo matemático. México D.F., 2009, 96 h. Tesis de grado (Maestro en ciencias en hidráulica). Instituto Politécnico Nacional. Secretaría de investigación y posgrado.

²¹ LÓPEZ JIMÉNEZ, et. al. El modelo de la red de distribución como herramienta de gestión y toma de decisiones: la importancia de la calibración del mismo. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y medio ambiente. Valencia. 2005

árboles frutales, sorgo, entre otros; donde prevalece la mecanización y la aplicación de las tecnologías avanzadas.²²

6.1.1 Distritos de riego a pequeña escala.

Los Distritos de Pequeña Escala son el principal factor para el desarrollo agrícola que permiten mitigar el efecto social y económico de las temporadas de sequías recurrentes y favorecer la planeación agrícola en los ciclos de producción mediante la organización de las actividades rurales, en cada una de sus etapas (cultivo, riego, fertilización, producción y comercialización), permitiendo a las familias campesinas beneficiarias hacer uso eficiente del agua en temporadas secas y poder generar oferta de productos agrícolas a precios competitivos, en temporadas del año que no hacen parte de los periodos típicos de cosecha.²³

La Comunidad representa los diferentes grupos de interés en el sector del riego y el drenaje, en el cual los agricultores son los principales beneficiarios y a los que se les dirige las capacitaciones. El Ambiente provee los recursos naturales, que se deben conservar y dar un manejo adecuado a las cuencas abastecedoras. La Ciencia y la Tecnología representan el conocimiento científico, la transferencia de tecnología, la asistencia técnica, los métodos y las herramientas que pueden ser usadas por la comunidad para intervenir el ambiente natural y dar a los usuarios los beneficios esperados. Estos elementos se desarrollan durante la vida útil del sistema de acuerdo a las especificaciones establecidas sin causar daño al ambiente.

6.1.2 Métodos de riego

A continuación se presenta una breve descripción de los métodos de riego más usuales en la agricultura que garantizan la optimización de recurso hídrico y de una buena eficiencia.

- Riego por aspersión²⁴

Este tipo de riego se caracteriza porque el agua alcanza a las plantaciones por medio de una lluvia restringida a cierto sector, puede ser llevado a cabo en terrenos poco uniformes, colinares, con pendientes, etc. y se suele utilizar en la mayor parte de cultivos y suelos.

En la Figura 7 se muestra un esquema básico del sistema de riego por aspersión.

²² URRUTIA, N. Sustainable management after irrigation system transfer. Experiences in Colombia – The RUT Irrigation District. Taylor & Francis Group. Delft, The Netherlands. 2006

²³ INSTITUTO COLOMBIANO DE DESARROLLO RURAL, Distritos de riego, principal factor del desarrollo agrícola en la provincia de oriente del departamento de Cundinamarca [en línea]

<http://www.incoder.gov.co/documentos/Boletines%202014/Boletin%2038.%20Fomeque.pdf> [consulta: 12/04/16]

²⁴ TARJUELO, José y BENITO, Martín. El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi-Prensa. 2005. 581 pp. En línea: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/seriesinia/NR08936.pdf>. [consulta: 12/04/16]

A través de una dosificación adecuada es posible emplearlo para regar en cantidades tanto menores como abundantes. Además no es necesario que el individuo encargado de realizar el riego posea alguna habilidad específica.

Dentro de las ventajas del método de riego por aspersión, se puede mencionar:

- Permite regar terrenos con accidentes topográficos o muy ondulados.
- No se requiere nivelación de suelos.
- Permite un control de la cantidad de agua aplicada.
- Se puede utilizar pequeños caudales en forma eficiente.

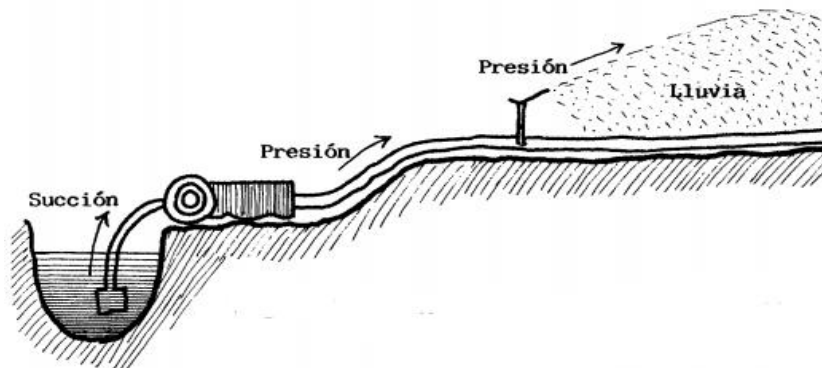
Algunas de las limitaciones de este método son:

- ♦ Alto costo inicial.
- ♦ Alto requerimiento de energía.
- ♦ Requiere de diseño y operación adecuados.
- ♦ No es recomendable para regar con acceso de sales.

El equipo de riego por aspersión comprende de cuatro unidades básicas

- ♦ Unidad de bombeo.
- ♦ Tubería fija y móvil.
- ♦ Aspersores.
- ♦ Accesorios.

Figura 7. Esquema básico Riego por Aspersión.



Fuente: ²⁵

²⁵VARGAS, Edmundo y SANDOVAL, Jorge. Riego por aspersión. Chile, Marzo 1989 [consulta: 12/04/16]

♦ Riego por surcos²⁶

El método de riego por surcos, consiste en hacer fluir el agua desde la acequia cabecera, por pequeños regueros desde los puntos más altos a los más bajos del potrero. En la Figura 8 se presenta un esquema básico de un sistema de riego por surcos.

El agua infiltrada al suelo por el fondo y el costado de los surcos; con lo cual se consigue un humedecimiento uniforme el perfil del suelo. Con este método se consigue eficiencias de aplicación del 60-70 por ciento. Dentro de las ventajas se puede destacar:

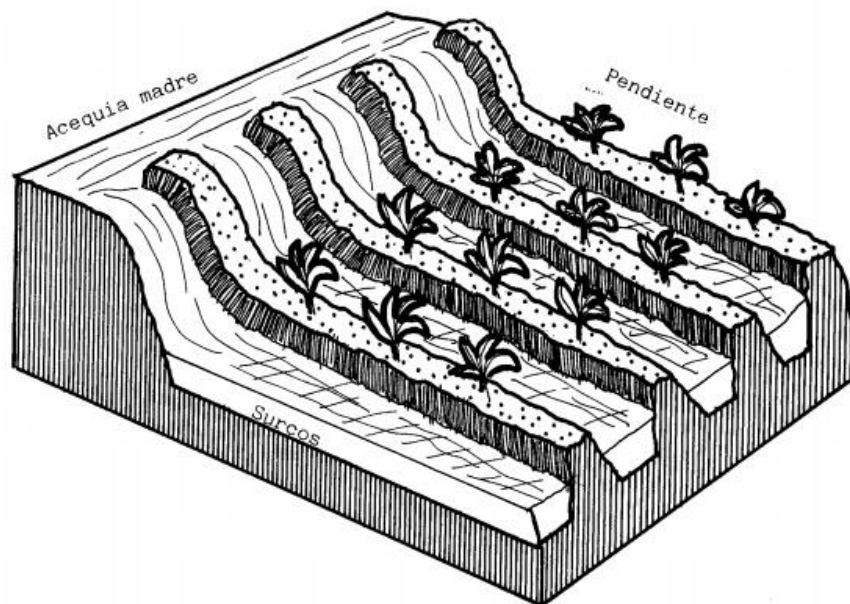
- ♦ Permite regar cultivos sensibles al humedecimiento del suelo en la zona del cuello del tronco de la planta
- ♦ Se consigue una aplicación uniforme del agua
- ♦ Presenta buena eficiencia de aplicación
- ♦ Costos de operación bajos

Este método presenta algunas limitaciones como:

- ♦ Requiere nivelación del terreno en sentido del riego
- ♦ No se puede regar con pendientes mayores de un 2-3 por ciento
- ♦ Aguas con exceso de sales provoca problemas en la planta
- ♦ No se recomienda en suelos permeables

²⁶ HOLZAPFEL, Eduardo et al. Riego por surcos. En línea <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/seriesinia/NR08947.pdf>

Figura 8. Esquema Riego por surcos



Fuente: ²⁷

♦ Riego por goteo²⁸

El riego por goteo es una técnica puesta en práctica en aquellas zonas de aridez, debido a que promueve la utilización eficaz de abonos y agua. Figura 9 se presenta un esquema general de un sistema de riego por goteo.

Es un método de riego localizado donde el agua es aplicada en forma de gotas a través de emisores, comúnmente denominados “goteros”. La descarga de los emisores fluctúa en el rango de 2 a 4 litros por hora por gotero. El riego por goteo suministra a intervalos frecuentes pequeñas cantidades de humedad a la raíz de cada planta por medio de delgados tubos de plástico. Este método, utilizado con gran éxito en muchos países, garantiza una mínima pérdida de agua por evaporación o filtración, y es válido para casi todo tipo de cultivos.

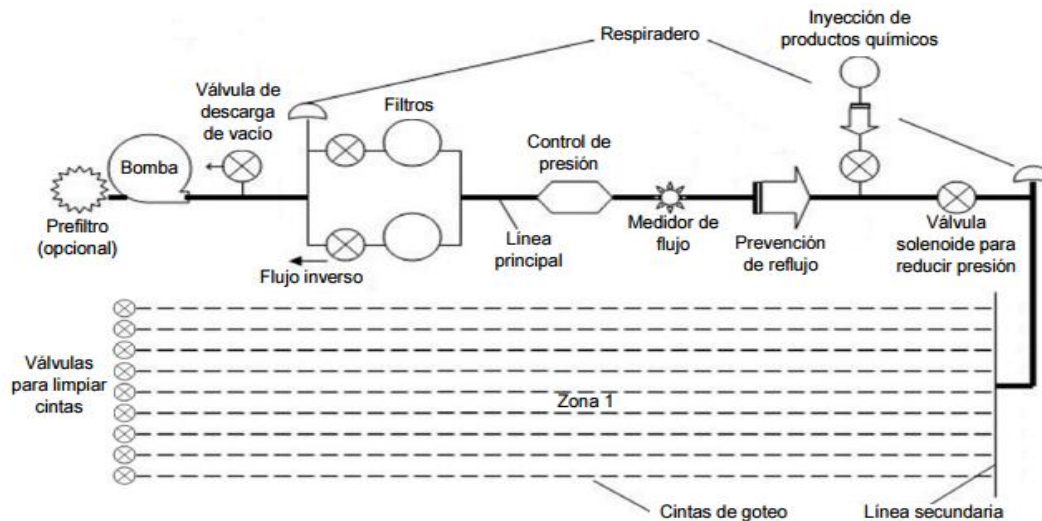
Los sistemas de riego por goteo son apropiados para los campos de forma irregular o donde la topografía o textura del suelo no es uniforme. Hay que tener en cuenta estos factores al diseñar el sistema de riego. Los sistemas de riego por goteo también son una buena opción donde hay altas tasas de infiltración, formación de charcos o un exceso de escurrimiento en algunas partes del campo.

²⁷ HOLZAPFEL, Eduardo et al. Riego por surcos. En línea <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/seriesinia/NR08947.pdf>

²⁸ C.C. Shock y T. Welch. Técnicas para la agricultura sostenible. Oregon state university., 2023..EM 8782.S en línea: <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/37462/em8782-S.pdf>

El riego por goteo es útil si el agua es escasa o costosa. Con menos evaporación, escurrimiento y percolación profunda, y con mayor uniformidad de aplicación, no es necesario aplicar un exceso de agua a ciertas áreas del campo para asegurar que otras reciban suficiente agua.

Figura 9. Esquema básico sistemas de Riego por Goteo.



Fuente:²⁹

La aplicación de nutrientes es más precisa con el riego por goteo. De este modo, se pueden reducir los gastos en fertilizantes y la pérdida de nitratos. Además, se puede escoger el mejor momento para fertilizar y satisfacer las necesidades de las plantas. Es posible diseñar y manejar un sistema de riego por goteo de tal manera que el área entre hileras se mantenga seca, permitiendo así operaciones de tractores en cualquier momento. Esto facilita la aplicación de herbicidas, insecticidas y fungicidas en el momento más oportuno.

Entre las desventajas se destaca.

- ♦ A veces es necesario modificar el programa de control de maleza. Algunos herbicidas necesitan lluvia o riego por aspersores para ser activados. Sin embargo, el riego por goteo puede reducir poblaciones de maleza o problemas con maleza en las zonas áridas porque la mayoría de la superficie del suelo se queda seca. Hay que instalar la cinta a la profundidad correcta para el cultivo específico y para que no impida las operaciones de labranza y control de maleza.

²⁹C.C. Shock y T. Welch. Técnicas para la agricultura sostenible. Oregon state university., 2023..EM 8782.S en línea: <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/37462/em8782-S.pdf>

- ♦ Con la excepción de sistemas permanentes, hay que recoger la cinta después de la cosecha y desecharla, reciclarla, o reutilizarla. Cualquiera de estas opciones representa un gasto adicional.

6.2 IMPORTANCIA EPANET

El programa EPANET es una herramienta orientada al análisis del comportamiento hidráulico de las redes de distribución de agua y el seguimiento de la calidad de las mismas, permitiendo realizar simulaciones en periodos extendidos (uno o varios días)

Epanet 2.0 proporciona un entorno integrado bajo el sistema operativo Windows en donde la visualización de los resultados se presenta bajo una amplia variedad de formatos que incluyen mapas de la red codificados por colores, tablas numéricas, gráficas de evolución y mapas de isolíneas. Figura 10, muestra el esquema del entorno de Epanet.

“Hoy en día son muchos los análisis que se realizan por medio del uso de software, debido a la precisión que manejan y sobre todo por sus bondades a la hora de generar reportes del análisis, por esto, el modelo se convierte en el elemento fundamental a la hora de gestionar la red de distribución de agua, de la que dependen aspectos tan importantes como la calidad del servicio, la eficiencia en el suministro o la calidad de la propia agua para el consumo humano.”³⁰

Según el RAS 2000 “para el diseño de las redes de distribución de agua potable y de las líneas de conducción se pueden utilizar programas de modelación hidráulica de redes, que utilicen el método del gradiente para sus cálculos, que permitan la modelación de la operación del sistema bajo periodos extendidos, que realicen el diseño de la red es mediante rutinas de optimización y que permitan modelar la calidad del agua”³¹. No obstante, para sistemas muy grandes o de complejidad alta hace que el uso del software sea obligatorio.

“El uso del software se hace necesario teniendo en cuenta que, Factores como el crecimiento poblacional y el desarrollo industrial influyen en la dinámica de crecimiento de la red de abastecimiento de una población. Las consecuencias de estas variaciones deben poder preverse con el objetivo de implantar las soluciones técnicas necesarias a tiempo a fin de que la demanda quede satisfecha. El compromiso de hacer llegar el producto a cada toma bajo unos requisitos mínimos de presión y calidad nos obliga a estudiar todas y cada una de las posibles eventualidades que puedan acontecer.”³²

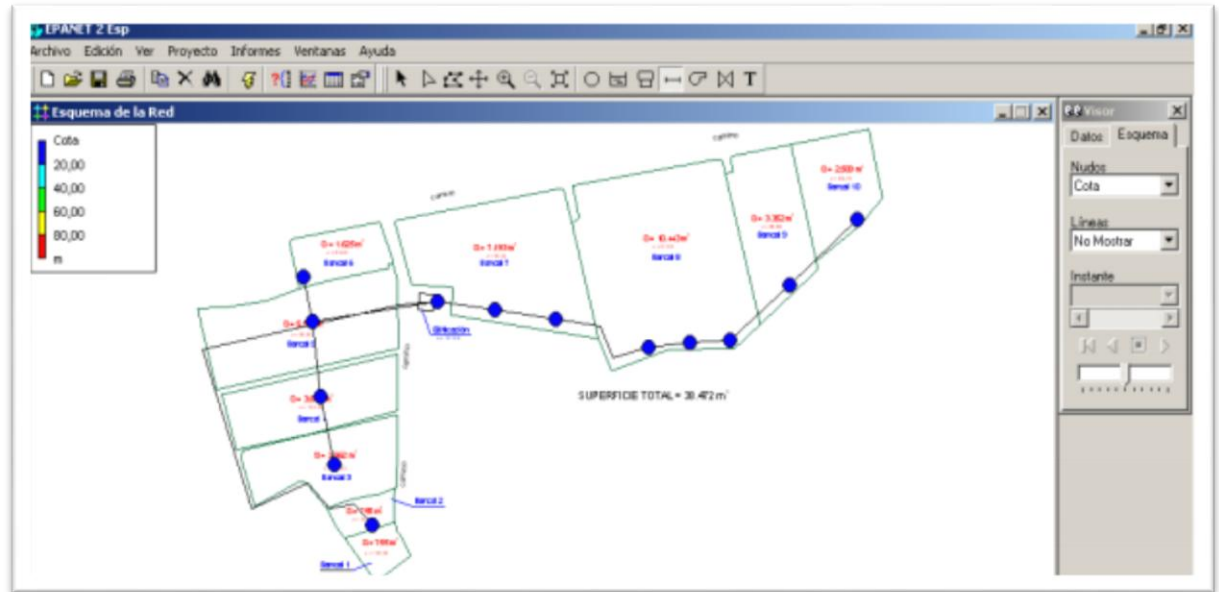
³⁰ Ibid. p.11.

³¹ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico (RAS – 2000). Santafé de Bogotá, 2000

³² GARCÍA ALCARAZ, M. d. Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas. Trabajo de grado (Ingeniería Civil). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2006.

“EPANET, es un programa, pionero en este tipo de cálculos [...], se caracteriza por su elevado nivel de fiabilidad, debido a que con su uso continuado desde su creación hace una década, ha podido depurar muchos de los errores iniciales, corregidos en cada nueva versión. Similares a EPANET, en el ámbito privado, destacan RAwIn, Hidro-NET y ABAST.”³³

Figura 10 Entorno Epanet



“El modelo de simulación hidráulica de EPANET calcula alturas (heads) en conexiones y caudales (flows) en líneas para un conjunto fijo de niveles de depósitos, niveles de tanques, y demandas de agua a lo largo de una sucesión de instantes temporales. [...]. Este proceso, conocido como "equilibrado hidráulico de la red", requiere métodos iterativos de resolución de ecuaciones no lineales. EPANET utiliza el "Algoritmo del Gradiente" con éste propósito.”³⁴

“Modelar una red requiere el tratamiento de una gran cantidad de información. Con los avances tanto de la computación como de las técnicas de análisis de redes, el problema de incluir todas las líneas que en realidad se presentan en la red, se elimina. Sin embargo, persiste la necesidad de la precisión de los datos de entrada para que la fiabilidad del modelo se asegure.”³⁵

“Es importante que el modelador conozca las capacidades de la herramienta que está utilizando, así como las limitaciones de la misma. Para ello es crucial que se sea consciente, al menos de forma cualitativa, de las fuentes de error que van a

³³ Ibid., p. 12.

³⁴ Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos. (s.f.). EPANET 2 MANUAL DEL USUARIO. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 12 de 2015

³⁵ López Jiménez, Op Cit, p. 11.

estar presentes en la modelación de la red.”³⁶

El método que emplea EPANET para resolver simultáneamente las ecuaciones de continuidad en los nudos y las ecuaciones de flujo dinámico en las tuberías, para un instante dado, puede clasificarse como un método híbrido de nudos y mallas. Todini y Pilati (1987) decidieron llamarlo “Método del Gradiente”.³⁷ “el desarrollo y avance de los paquetes comerciales ha sido tal que a pesar de compartir muchos la misma base del algoritmo de cálculo (Gradiente Hidráulico) existe una marcada diferenciación entre los diferentes software especialmente en conceptos de interoperabilidad, facilidad de uso, herramientas de productividad, procesos de consulta multi-criterio, operaciones de análisis espacial, posibilidades gráficas, integración con Sistemas de Información Geográfica (GIS), etc.”³⁸

“El diseño de la línea de conducción debe incluir su modelación matemática de tal forma que permita entender la hidráulica para cualquier condición de operación o cualquier condición de emergencia.”³⁹ “El modelo matemático debe montarse en cualquier programa de análisis hidráulico de redes de acueducto que utilice el método del gradiente en sus cálculos y permita el uso de las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Colebrook-White.”⁴⁰

6.2.1 Componentes de la red en EPANET.

- ♦ Componentes físicos: Esta herramienta modela un sistema de distribución de agua como un conjunto de líneas conectadas por sus nudos extremos. Las líneas representan tuberías, bombas o válvulas de control. Los nudos representan puntos de conexión entre tuberías o extremos de las mismas, con o sin demandas (nudos de caudal), y también depósitos o embalses. La Figura 6. Muestra cómo se interconectan todos estos objetos entre sí para formar el modelo de una red.

Además de estos componentes físicos, EPANET utiliza los siguientes tipos de componentes complementarios, que describen el comportamiento y modo de operación del sistema:

- ♦ Curvas de Comportamiento: Las Curvas de Comportamiento (o Curvas simplemente) son objetos que contienen pares de datos ordenados, los cuales representan una relación entre dos magnitudes. Dos o más objetos físicos

³⁶ Martínez Solano, Aplicación de los sistemas de información geográfica a la gestión técnica de las redes de agua potable. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2002. Citado por: López Jiménez, Op Cit, p.11.

³⁷ PEREZ, Rafael. Análisis del comportamiento hidráulico de la red de abastecimiento de la ciudad de Córdoba mediante EPANET

³⁸ ZAPATA, Luis . Diseño óptimo de redes cerradas de tuberías presurizadas para abastecimiento de agua potable en flujo permanente y aplicación al centro poblado campanita ubicado en san José Pacasmayo – la libertad. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería Disponible en:

<http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/618/1/ZAPATA_LUIS_REDES_CERRADAS_TUBERIAS.pdf>

³⁹ EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN. Normas de diseño de sistemas de acueducto, Medellín, 2009, Disponible en:

https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/NormasDisenoSistemasAcueducto.pdf

⁴⁰ Ibíd., p. 13

pueden compartir la misma curva. En un modelo de EPANET se pueden declarar los tipos de Curvas siguientes:

- Curvas Características
- Curvas de Rendimiento
- Curvas de Cubicación
- Curvas de Pérdidas

♦ Curvas de Modulación

Las Curvas de Modulación son una secuencia de factores multiplicativos que, aplicados sobre un valor base, hacen que éste varíe con el tiempo. Las Curvas de Modulación se asocian a las demandas en los nudos, a las alturas de los embalses, a la velocidad de giro de las bombas, a las inyecciones de contaminantes en la red, y al precio de la energía.

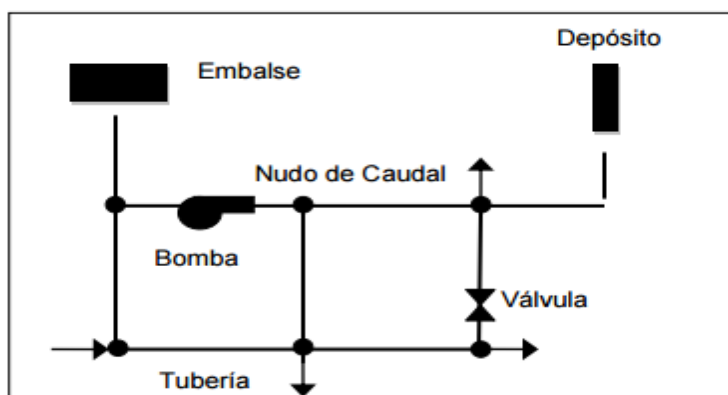
6.2.2 Opciones de Cálculo en Epanet

Existen cinco categorías de Opciones de Cálculo, agrupadas en función del tipo de análisis a realizar por EPANET. Estas categorías son las siguientes:⁴¹

- ♦ Opciones Hidráulicas
- ♦ Opciones de Calidad del Agua
- ♦ Opciones de Reacciones
- ♦ Opciones de Tiempo
- ♦ Opciones de Energía

En la Figura 11 se muestra a través de un modelo la forma en que se representa una red en el entorno de EPANET.

Figura 11. Modelo de una red en el entorno del software de EPANET



⁴¹ RAMIREZ, VICTOR. Propuesta de un criterio de análisis y optimización de una red de riego por aspersión, previo al empleo del programa EPANET. Trabajo de Grado Maestro en ingeniería. México DF: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Programa de maestría y doctorado en ingeniería. 195 p

Las Empresas Públicas de Medellín EPM indican que en el proceso de diseño se deben realizar diferentes verificaciones: Comprobar el diseño bajo diferentes condiciones de operación hidráulica. Para esto se deberá utilizar cualquier programa de análisis de redes de tuberías que utilice el método del gradiente como método de cálculo, utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach y teniendo en cuenta que todas las tuberías deben simularse con su diámetro interno real y con el coeficiente de rugosidad absoluta correspondiente a cada material de tuberías. Alternativamente el programa puede permitir el uso de la ecuación de Hazen-Williams.

El diseño debe comprobarse para los siguientes casos de operaciones hidráulicas:

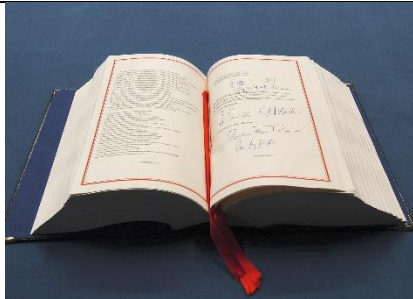
- ♦ Flujo permanente bajo las condiciones de Qmd en el momento de la puesta en marcha del proyecto.
- ♦ Flujo permanente bajo las condiciones de Qmd para períodos de operación de 10, 20 y 30 años.
- ♦ Caudal mínimo en el momento de inicio de operación del diseño.
- ♦ Escenarios de operaciones especiales de mantenimiento. En particular se deben tener en cuenta aquellos casos en los cuales estas operaciones impliquen la salida de operación de una o varias de las líneas de conducción de la red de conducciones de las Empresas Públicas de Medellín.
- ♦ Escenarios de operaciones de emergencia, que impliquen la salida de operación de una o varias de las líneas de conducción de la red de conducciones de las Empresas Públicas de Medellín.
- ♦ Escenario de cambio en los caudales producidos por cada una de las plantas de tratamiento de las Empresas Públicas de Medellín, en particular en el caso en que alguna de ellas salga completamente de operación.
- ♦ Escenarios de lavado de ciertas líneas de conducción de la red de conducciones de EPM.⁴²

⁴² Empresas Públicas de Medellín. Op. Cit. p. 13.

7. MARCO NORMATIVO

En la Tabla 5 se presenta un listado de las normas, leyes y decretos que son aplicables a pequeños distritos de riego por aspersión en Colombia.

Tabla 5 Normatividad vigente aplicable a proyectos que ejecutan distritos de riego.

Tipo	Tema	Aplicabilidad	Icono
Constitución de Colombia de 1991	Uso sostenible de los recursos naturales	Manejo del recurso hídrico, sostenibilidad	
Ley de Adecuación de Tierras nº 41 en 1993	Por la cual se organiza el subsector de adecuación de tierras y se establecen sus funciones	Se establece el concejo de adecuación de tierras, tiene por objeto regular la construcción de obras de adecuación de tierras, con el fin de mejorar y hacer más productivas las actividades agropecuarias	

ley 1450 de 2011	Ambiente , conservación	El 1% del presupuesto se debe invertir en conservación	
------------------	-------------------------	--	--

8. MARCO CONTEXTUAL

8.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

EL distrito de riego de pequeña escala Yamuésquer, se encuentra ubicado en el Municipio de Potosí, Departamento de Nariño con las siguientes coordenadas geográficas:

- ♦ Minimas E=944800 N=576800
- ♦ Maximas E=947800 N=582500

La fuente de abastecimiento es la quebrada Magdalena aporte uno, con un caudal concedido para diseño de 18 Lps; la fuente está localizada entre las veredas de Yamuésquer y San Antonio; el distrito está conformado por 113 usuarios, con 113 hidrantes y con una área total a irrigar de 110 hectáreas.

El Distrito de riego consta de: Bocatoma, Aducción, Desarenador, 21,287 Km de tubería PVC para la línea de conducción principal, ramales y acometidas; en diámetro de tubería que inicia en 8" y termina en 3/4", instalación de sistemas de control de 8", 6", 4" y 2", instalación de macro medidor y la construcción de dos cámaras de quiebre.

El área del proyecto es de 110 Hectáreas en donde se propone el establecimiento del cultivo conocido como pasto brasileiro que es básicamente un pasto que está en la zona desde hace mucho tiempo pero que ha sido manejado como pasto de corte sin explotar las debidas potencialidades por ser un pasto exigente en agua. Esta especie se adapta bien a la región por su temporalidad, necesidad de riego, adaptación a los suelos, fácil manejo y conocimientos agronómicos por parte de los productores de la región.

A nivel predial se empleó el sistema de riego por aspersión, dividido en dos turnos, con una jornada de operación de 24 horas por turno; mediante sistemas en PVC y válvulas hidrantes fijas con aspersores móviles.

8.1.1 Estratigrafía de la zona de proyecto

La zona del proyecto se caracterizó por presentar en la superficie un suelo orgánico de consistencia muy blanda, de los 0.60 mts a 3.0 mts Conglomerado con presencia de piedra entre 3 pulgadas a 30 pulgadas de diámetro con matriz arcillo a limoso de consistencia blanda, color café grisáceo, compresión inconfiada de 0.72kg/cm², humedad natural de 57.41%, límite líquido de 39%, límite plástico de 33.48%, índice de plasticidad de 5.52%, ángulo de fricción de 17.01°, peso específico de 1.97gr/cm³, peso unitario húmedo 1.49gr/cm³.⁴³

8.1.2 Climatología del proyecto.

La caracterización de la zona del proyecto se realizó con los datos aportados por las estaciones más cercanas a la zona. De la estación climatológica Santa Rosa De Potosí se utilizan los registros de precipitación y del aeropuerto de San Luis, los registros de temperatura máxima, media y mínima, humedad relativa, evaporación tanque A, velocidad del viento y brillo solar.

Esta zona presenta para temperatura un comportamiento característico de las zonas tropicales, en donde se presentan bien marcadas las diferencias entre mínimos y máximos durante el año.

El brillo solar se distribuye en forma homogénea en comparación con los demás parámetros.

A continuación en la Tabla 6 se presenta los parámetros climatológicos del área en la que se ubica el proyecto Distrito de riego de pequeña escala Yamuésquer⁴⁴ estos datos fueron suministrados por la unión temporal Yamuésquer.

Tabla 6. Parámetros climatológicos de la zona de influencia del proyecto distrito de riego por aspersión Yamuésquer.

PARÁMETRO	MEDIA	OBSERVACIONES
Temperatura	11.3 °C.	Abril (+0.2°C) Julio y agosto (-0.8°C)
Velocidad del viento	1.4 m/s	Noviembre y diciembre 1.1 y 1.0 m/s Julio y agosto 1.80 m/s

⁴³. MAIGUAL, Ilda. Estudio de suelos proyecto pequeña escala Yamuésquer – proyecto ASOYAMUÉSQUER. San Juan de Pasto, 2013

⁴⁴. ASOYAMUÉSQUER. Climatología Distrito de riego Yamuésquer – proyecto ASOYAMUÉSQUER

humedad relativa	82%	Septiembre 79%.
Evaporación	983.8 mm mensual multianual	Los meses de agosto, septiembre, octubre y diciembre presentan los valores más altos y el mes de febrero y junio los valores más bajos del año.
Brillo solar	Distribución homogénea	144.6 horas mensuales en el mes de agosto. 98.9 horas mensuales durante marzo.
Precipitación	1.009,1 mm promedio multianual Abril 126.8mm Noviembre 103.1mm	Comportamiento bimodal, dos periodos lluviosos y dos secos.

8.1.3 Requerimientos de agua del cultivo.

Término que se refiere a las relaciones entre las ganancias y pérdidas de agua (en forma de evaporación, precipitación, escorrentía o almacenamiento superficial subterráneo), en una región o cuenca y en un periodo determinado.

Las ganancias o ingresos de agua se producen a través de las precipitaciones y las pérdidas o egresos ocurren debido a los procesos de evapotranspiración, que involucran a la evaporación directa de las superficies de agua y de la humedad del suelo y al agua que transpiran los vegetales a través del follaje luego de extraerla del suelo.

Cuando la pérdida decadal, mensual o anual de humedad excede a la precipitación, resulta un balance deficitario, con lo cual el suelo se seca; cuando la precipitación es mayor a las pérdidas resulta un excedente que permite recuperar la humedad del suelo.

Cada región posee valores diferentes, tanto para la precipitación como para la evapotranspiración, ya que dependen de sus propias condiciones climáticas.

- ◆ Precipitación promedio decadal (mm)

Valor medio totales decadales de precipitación registrados por la estación pluviométrica SANTA ROSA DE POTOSI en los últimos 10 años y ordenados en las 36 décadas del año.

- ◆ Precipitación al 75%

La misma información anteriormente descrita, al ordenarla de mayor a menor en cada una de las 36 décadas del año se denomina “**Distribución Acumulada Empírica de Precipitación (DAEP)**” y de ella se obtiene el Balance Hídrico Para Riego Potencial, el cual evalúa la probabilidad de ocurrencia de un mismo evento al 75% de certeza; Los resultados obtenidos presentan un panorama correspondientes a un año seco.

Las condiciones climáticas, probabilísticamente, NO aportan la cantidad de agua suficiente para desarrollar la actividad agropecuaria en secano, por consiguiente, la aplicación de riego tipo suplementario es la RECOMENDACIÓN para solucionar el problema del déficit hídrico, siendo prioritario adecuar con infraestructura de riego la zona estudiada para lograr una producción continua en la actividad agropecuaria bajo las circunstancias encontradas.

- ◆ Precipitación efectiva (mm)

Una parte de la precipitación caída se pierde por escorrentía superficial, por penetrar en profundidad fuera del alcance de las raíces y por evaporación fuera de la superficie del suelo o del cultivo.

Se llama precipitación efectiva aquella fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas; el tipo de suelo, la intensidad de la precipitación, etc. La precipitación efectiva según la aplicación del CROPWAR 8,0 para Windows de la fao se obtiene un valor de 857,4 mm.

- ◆ Evapotranspiración de referencia (ET_o).

El cálculo de la Evapotranspiración Potencial para la zona de estudio, se realizó con la aplicación del software CropWat para Windows versión 8,0 desarrollado por la FAO, quienes recomiendan como único método la ecuación de Penman-Monteith para determinar los requerimientos hídricos de los cultivos.⁴⁵ La ET_o calculada por este método fue de 2,73 mm/día.

- ◆ Coeficientes transpiración de cultivo (K_c).

⁴⁵ ALLEN, Richard. Et al. evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje no 56. Roma ,1992

La mayoría de los métodos desarrollados para estimar la evapotranspiración se refieren a la evapotranspiración estimada para un cultivo de referencia, el cual es generalmente alfalfa o pasto.

Para estimar la evapotranspiración real de otros cultivos diferentes del cultivo de referencia se hace necesario la aplicación del coeficiente de cultivo, el cual es definido como la relación entre la evapotranspiración real del cultivo estudiado y la evapotranspiración del cultivo de referencia.

Esta relación es la siguiente: $K_c = ET/ETP$.

Donde :

K_c = Coeficiente de cultivo (adimensional)

ET = Evapotranspiración real del cultivo

ETP = Evapotranspiración potencial o evapotranspiración del cultivo de referencia.

En este estudio se utiliza la información propuesta por Doorenbos y Pruitt (1977) en su publicación de la FAO 24.⁴⁶

Tabla 7. Coeficientes de cultivos permanentes (Kc)

CULTIVO	PRIMERA ETAPA	SSEGUNDA ETAPA	TERCERA ETAPA	CUARTA ETAPA
Pastos	0,2	0,5	0,7	1

Tabla 8. Duración aproximada de la etapas durante el periodo vegetativo (dias)

CULTIVO	TOTAL	PRIMERA ETAPA	SSEGUNDA ETAPA	TERCERA ETAPA	CUARTA ETAPA
PASTOS	110	10	20	30	50

♦ Uso consuntivo (UC) mm

El uso consuntivo o evapotranspiración del cultivo (K_c) es el factor que relaciona el uso actual del agua de un cultivo con la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETP) y depende del estado de desarrollo de la planta. Se define también como la cantidad de agua que un cultivo puede evapotranspirar para un óptimo desarrollo. Se calcula con base a la ETP y el Coeficiente de cultivo K_c .

⁴⁶ DOORENBOS, J. PRUTT W. Guidelines for predicting crop water requirement. Irrigation and drenaje. FAO 24. Roma, 1977.

$UC = ETP * Kc$. Que corresponde a 28,6 mm siendo el mayor valor es de en la tercer Década de agosto.

- ◆ Demanda neta (NRn).

Según los resultados del componente climatológico, permite conocer en términos generales las décadas con déficit hídrico (demanda neta) y los periodos que permiten la actividad agrícola en secano.

La segunda década de agosto, con 13,8 mm, presentan los mayores valores del año y deben suplirse con riego para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

8.1.4 Eficiencias de la aplicación del riego

- ◆ Eficiencia de aplicación (Ea.)

Según Las necesidades de agua de los cultivos FAO No.24, dice " Para obviar los fallos evitable e inevitables de la aplicación de agua, es preciso aumentar las necesidades netas de riego en función de la eficiencia de aplicación del riego. Es la relación existente entre la cantidad de agua almacenada en la rizosfera directamente disponible para el cultivo y la cantidad total de agua aplicada a la tierra."

Es la fracción del agua aplicada en el riego que se almacena en el suelo y que está disponible para el cultivo teniendo en cuenta las pérdidas de evaporación propias de la técnica de rociado típicas del sistema por aspersión presenta un valor del 65%,

- ◆ Eficiencia de distribución (Ed)

Por unidad de superficie se estima un caudal para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, la relación entre la cantidad de agua suministrada y las perdidas por infiltración, incluyendo las programaciones de riego. (Tiempo de riego, Frecuencia de riego) resulta la eficiencia por distribución.

La eficiencia de distribución aceptable y recomendada para proyectos de riego que contemplan una infraestructura, como la propuesta en el Plan de Ingeniería, se considera por el orden del 98%.

- ◆ Eficiencia de conducción (Ec)

Corresponde a la eficiencia en uso del agua desde la captación en las estructuras de derivación en la quebrada san Antonio de Yamuésquer hasta la entrega en los predios a beneficiarse.

El proyecto de riego YAMUESQUER, contempla en el 100% el transporte del agua en ducto cerrado o tuberías en PVC de alta presión, por consiguiente las pérdidas son menores y se estima una eficiencia del 99%.

♦ Eficiencia total del sistema de riego. (Et)

Contempla las pérdidas de agua desde la captación tanto en la quebrada San Antonio De Yamuésquer, como las ocasionadas en el transporte por conducción, las propias a la distribución por operatividad (tiempo y frecuencia de riego) en las parcelas incluyendo las perdidas por infiltración y las ocurridas por evaporación y acarreo del viento inherentes al rociado por aspersión.

$E_t = E_a * E_d * E_c$, donde:

E_t = Eficiencia total del sistema de riego

E_a = Eficiencia de aplicación

E_d = Eficiencia de distribución

E_c = Eficiencia de conducción

Las eficiencia del sistema es: $E_t = 0.65 * 0.99 * 0.98 = 87,3 \% \quad 63\%$

La eficiencia total del sistema de riego resultante es del 87,3% y se estima para todos los análisis pertinentes.

♦ Demanda bruta (NRb).

Las necesidades de riego brutas (NRb) están directamente relacionadas con la eficiencia total del sistema de riego (E_t) y se expresan con la fórmula:

$NRb = NRn / \text{Eficiencia total del sistema de riego } (E_t)$.

Segunda y tercera década de septiembre, las décadas a suplir con riego para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos. Durante la segunda década de agosto se presenta la mayor demanda con valor de 21,9 mm.

♦ Jornada de riego (J)

Es el tiempo estimado en horas / día durante las cuales se recomienda el ejercicio de la actividad operativa del sistema de riego con la aplicación de agua por medio del sistema de aspersión liviana a los cultivos propuestos por el Plan Agrícola del proyecto.

Para el proyecto de riego Yamuésquer se estimó en 12 horas / día los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y la primera década de junio, las dos décadas

de junio y el mes de julio, jornadas de 18 horas/día, agosto y septiembre con 20 horas/día. Octubre, noviembre y diciembre jornadas de 12 horas/día.

Estas jornadas laborales optimizan el uso del distrito de riego en temporadas secas, quedando tiempo prudente para las labores de mantenimiento de rutina.

- ♦ Módulo de riego (lt/seg/ha).

Es el caudal de agua que se dedica al riego por unidad de superficie o que se utiliza en él y es el resultado obtenido al conjugar en el Balance Hídrico Agrícola las variables del Plan Agrícola propuesto (cultivos, periodos vegetativos, profundidad radicular efectiva), del Estudio de mercadeo (entrada de áreas y áreas totales), condiciones intrínsecas de los suelos presentados en el estudio Agrológico (Características físicas e hidrofísicas de los suelos como capacidad de campo, punto de marchites permanente, densidad aparente, textura, infiltración básica, profundidad efectiva y áreas), caracterización climática (Precipitación diaria, temperaturas medias, brillo solar, recorrido del viento y humedad relativa) y caudal disponible en la fuente presentado en el Estudio Hidrológico.

La década con el módulo de riego más altas se presentan en la segunda de agosto con un valor de 0.30 l/s/ha. Razón por la cual se determina como módulo de riego 0.30 litros / segundo / hectárea, garantizando de este modo suplir satisfactoriamente los requerimientos hídricos en la época más crítica del año.

- ♦ Caudal disponible (lps).

Las necesidades de agua en la actividad agrícola hacen que se tomen decisiones adecuadas bajo cumplimiento de normas y requisitos tanto técnicos como legales en consenso entre las comunidades beneficiarias.

Razón por la cual se presenta el proyecto de adecuación de tierras con riego Yamuésquer del municipio de Potosí con una propuesta de uso del agua de la quebrada San Antonio de Yamuésquer en dos turnos de riego distribuyendo los 18 litros por segundo disponibles día por medio para regar las 110 hectáreas en dos turnos de 55 hectáreas c/u.

En la Tabla 9 se presentan el caudal asignado para cada tramo y los hidrantes ubicados en cada zona.

Tabla 9.Caudal y módulo de riego

CAUDALES	
Modulo de riego	0,30 lps/ha
Hectareas	116,00 has

Hidrantes	116,00 und
Caudal total	34,80 lps
TURNO 1	
Usuarios	Ppal. y Ramales No.8-3
Hidrantes	57und
Caudal	17,1l/s
CAUDALES TURNO 2	
Usuarios	Ppal. y Ramales No.2-4-5-6-7
Hidrantes	58und
Caudal	17,4lps

Con el valor del caudal requerido decadalmente (lt/seg), al sustraerle al valor del caudal disponible (estudio hidrológico), se obtiene el caudal faltante o sobrante, (DEFICIT O EXCESO). Los resultados muestran que las fuentes satisfacen los requerimientos de agua durante todo el año en la situación por turnos de riego acondicionando la operación a las circunstancias y con valores por debajo del caudal otorgado en la concesión de aguas.

En la *Tabla 10* se detalla el caudal por ramal y el número de hectáreas a cubrir y el número de hidrantes.

Tabla 10. Caudal parcial y total por ramales para el distrito de riego Yamuésquer.

RAMAL Y SUBRAMALES	RAMAL SALIDA	No.HIDRANTES	No.HECTAREAS	CAUDAL PARCIAL	CAUDAL SUBRAMAL	TOTAL RAMAL
PRINCIPAL		53	53	15,9		15,90
RAMAL No. 8	PRINCIPAL	7	7	2,1		2,10
RAMAL No. 2	PRINCIPAL	3	3	0,9		0,90
RAMAL No. 3	PRINCIPAL	16	16	4,8		6,90
RAMAL No. 3-1	RAMAL No. 3	7	7	2,1	2,1	
RAMAL No. 4	PRINCIPAL	15	15	4,5		5,70
RAMAL No. 4-1	RAMAL No. 4	4	4	1,2	1,2	

RAMAL No. 5	PRINCIPAL	4	4	1,2		1,20
RAMAL No. 6	PRINCIPAL	5	5	1,5		1,50
RAMAL No. 7	PRINCIPAL	2	2	0,6		0,60
TOTALES	.	116	116	34,8		

8.2 SISTEMA DE RIEGO PREDIAL

Según los requerimientos de agua del cultivo, del distrito de riego YAMUESQUER, la temporada más crítica del año es la segunda década de SEPTIEMBRE, la cual se utilizaba como punto de referencia para hacer el análisis de parámetros de riego garantizando de esta manera suplir las necesidades de agua en el momento de mayor déficit hídrico del año.

8.2.1 Cajilla Predial

Desde la línea principal o lateral de un ramal o sub-ramal, se deriva la tubería en PVC $\frac{3}{4}$ " o conducción hacia el centro del área o lote a regar, el cual es el mejor sector agrícola del predio a beneficiar, en este sitio se ubica una cajilla construida en madera plástica (polietileno reciclado) de 1,15 m de largo x 0,35 m de alto y 0,40 m de alto.

Esta cajilla incluye elementos de control y seguridad como:

- ◆ Adaptadores macho $\frac{3}{4}$ "
- ◆ Registro cortina $\frac{3}{4}$
- ◆ Tee $\frac{3}{4}$ "
- ◆ Válvula toma presión $\frac{3}{4}$ "
- ◆ Válvula reguladora de presión $\frac{3}{4}$ " (Opcional en sitios de alta presión)
- ◆ Universal $\frac{3}{4}$ "
- ◆ Hidrante $\frac{3}{4}$ "
- ◆ Filtro de mallas $\frac{3}{4}$ "

La cajilla se encuentra dividida en dos compartimentos, los cuales cumplen funciones características:

En el primer compartimiento se encuentran los elementos de control como llaves de paso, control de presión, filtro y toma de presión, con estos elementos se busca mantener una presión y caudal constante en el emisor que es el aspersor, este

compartimiento y elementos son de manejo exclusivo del fontanero, persona previamente capacitada para definir estas características.

El segundo compartimiento, que consta de una llave de paso y el hidrante son de manejo exclusivo del usuario, quien conecta en el hidrante, el ala de riego para realizar la faena de la aplicación de agua al predio.

- ♦ Ala de riego la función de este elemento es la distribución racional del agua en el predio, consta de:
- ♦ Llave bayoneta 3/4"
- ♦ Codo HG 3/4"
- ♦ Adaptador macho aluminio 3/4"
- ♦ Abrazadera cremallera 1"
- ♦ Manguera polietileno bicolor 3/4" en una extensión de 50 mts.
- ♦ Elevador de 1m en HG 3/4" con chuzo
- ♦ Aspersor.

8.2.2 Selección del Aspersor

Para este sistema el contratista recomendó preferiblemente de cuerpo plástico, doble boquilla 3.0mm x 2.5mm, conexión macho 3/4", con una descarga de hasta 0.35 lps una presión de 40 m.c.a.

Este equipo, presenta características apropiadas para la aplicación de agua sin causar daño al suelo y al cultivo, el tamaño de gota y la velocidad con que esta cae al suelo o al follaje es la ideal.

- ♦ Pluviometría del aspersor (Pva) mm/h

Los dispositivos más utilizados en agricultura son los aspersores giratorios, provistos de una o dos boquillas. El aspersor gira alrededor de su eje, impulsado por la presión del agua, lo que le permite regar una superficie circular.

Los aspersores giratorios, según la presión de funcionamiento se clasifican de la siguiente forma:

- ♦ De baja presión, funcionan con presiones inferiores a 10 mca, arrojan un caudal inferior a 1 m³ de agua por hora o 0,27 lps y se instalan con espaciamiento entre 12 a 15 metros.
- ♦ De presión media, funcionan con presiones comprendidas entre 20 y 40 mca, arrojan un caudal entre 1 y 6 m³ de agua por hora o 0,28 a 1,6 lps y se utilizan con espaciamientos comprendidos entre 12 x12 a 25x25 metros.
- ♦ De alta presión, funcionan con presiones superiores a 40 mca, arrojan un caudal superior a 6 m³ de agua por hora o 1,6 lps, a esta categoría pertenecen los cañones de riego y se instalan con espaciamientos superiores a los 40 metros.

La Pluviometría del aspersor seleccionado, perteneciente al rango de presión media, no debe superar la velocidad de infiltración del suelo evitando de esta manera el encharcamiento o escurrimiento.

Para hallar la Pluviometría del aspersor se debe fijar el espaciamiento entre aspersores (ea) y el espaciamiento entre laterales (el).

- ♦ Trazado y diseño red de distribución predial – Aspersión

El trazado de la red de riego parte de la toma predial, la que generalmente se encuentra localizada a la entrada y en la parte más alta del predio, de tal manera que se esté ganando presión en la distribución predial beneficiando la disponibilidad de presión en los puntos más desfavorables del mismo.

La posición de los hidrantes fue ubicada en la parte central del predio o área de riego, de tal manera que el usuario pueda estacar en cuadros de 12 m x 16 m alrededor del hidrante o hidrantes que le han correspondido en su área.

Para la tubería predial se usó PVC uso Agrícola RDE 21 para tuberías desde 2" a ¾ ".Respecto a los accesorios se consideró un 1 % de la longitud de los respectivos tramos de tubería la para el cálculo de longitudes equivalentes y por tanto pérdidas.

Para el dimensionamiento se consideraron como criterios de diseño:

La velocidad máxima en las tuberías de distribución fue de 2.3 m/s evitando golpe de ariete, para los cálculos hidráulicos se utilizó la fórmula de Hazen & Williams para las perdidas por fricción.

8.2.3 Parámetros de riego

A continuación se presentan los parámetros bajo los cuales funciona el distrito de riego Yamuésquer.

- ♦ Lámina de agua aprovechable en mm (LAA)

$$LAA = \frac{cc - pm * DA * PR}{100}$$

CC =Contenido de humedad a la Capacidad de Campo en % (promedio)

PM= Contenido de humedad en el Punto de Marchitez en % (promedio)

Da =Densidad Aparente en g/cc

Pr =Profundidad Radicular efectiva en cm

$$LAA = \frac{40-15 * 0.9 * 10}{100} = 2,25 \text{ cm} = 22.50 \text{ mm}$$

- ♦ Lamina neta de agua en mm LN

$$LN = \frac{LAA \cdot NR}{100} = \frac{22,50 \cdot 35}{100} = 7,88 \text{ mm}$$

En donde:

NR= Nivel de Reposición o porcentaje de agotamiento del agua aprovechable 35%

- ♦ Tiempo de Riego en horas (TR)

$$TR = \frac{LB}{lb} \text{ y } LB = \frac{LN}{ER}$$

En donde:

LB=Lamina Bruta en mm

lb=Infiltración básica en mm/hr=14mm/hr

ER=Eficiencia del sistema de aplicación en %=65%

$$LB = \frac{LN}{ER} = \frac{7,88 \text{ mm}}{65\%} = 12,12 \text{ mm} \text{ entonces } TR = \frac{12,12}{14} = 0,87 \text{ horas}$$

- ♦ Frecuencia de riego (FR)

$$FR = \frac{LN}{UC} = \frac{7,88 \text{ mm}}{2,8 \text{ mm/día}} = 2,8 \text{ días}$$

UC= uso consecutivo del cultivo en mm/día

- ♦ Módulo de riego= 0,3 lt/seg/ha
- ♦ Caudal =1.08 m³/hra
- ♦ Diámetro mojado del aspersor (Dh) en metros

$$Dh = D \cdot Vv = 20 \cdot 65\% = 13 \text{ m}$$

- ♦ Precipitación del aspersor (PH) mm/hr

$$PH = \frac{q \cdot 1000}{Ea \cdot EL}$$

En donde=

Eq=Caudal del aspersor en m³/hr

Ea=Espaciamiento entre aspersores en metros=12m

EL=Espaciamiento entre laterales en metros= 14m

$$PH = \frac{1080l/hr}{12m*14m} = 6,4mm/hr$$

♦ Área útil mojada en m² (Au)

$$Au = Ea * EL = 12 * 14 = 182m^2$$

♦ Número de posiciones diarias para regar una hectárea (Np)

$$Np = \frac{J}{TR} \text{ En donde:}$$

J= Jornada de trabajo en horas

TR=Tiempo de riego horas

$$NP = \frac{16}{0,87} = 18,5 /dia$$

♦ Área regada por aspersor m²/día (Ar)

$$Ar = Np * Aa = 18.5/dia * 182m^2 = 3365m^2/dia$$

♦ Periodo de retorno (Pr)

$$Pr = \frac{At}{Ar} \text{ En donde}$$

At= área total a regar en m²

$$Pr = \frac{10000m^2}{3365m^2/dia} 3.0días$$

8.3 COMPONENTES BÁSICOS DEL DISTRITO

En la figura 12 Se muestra un esquema general del proyecto Asoyamuesquer información que se amplía en el Anexo A y en seguida se describen los componentes básicos del proyecto.

8.3.1 Bocatoma.

La bocatoma es una estructura hidráulica con la cual se capta y deriva el agua de una corriente superficial permanente hacia el sistema de riego.

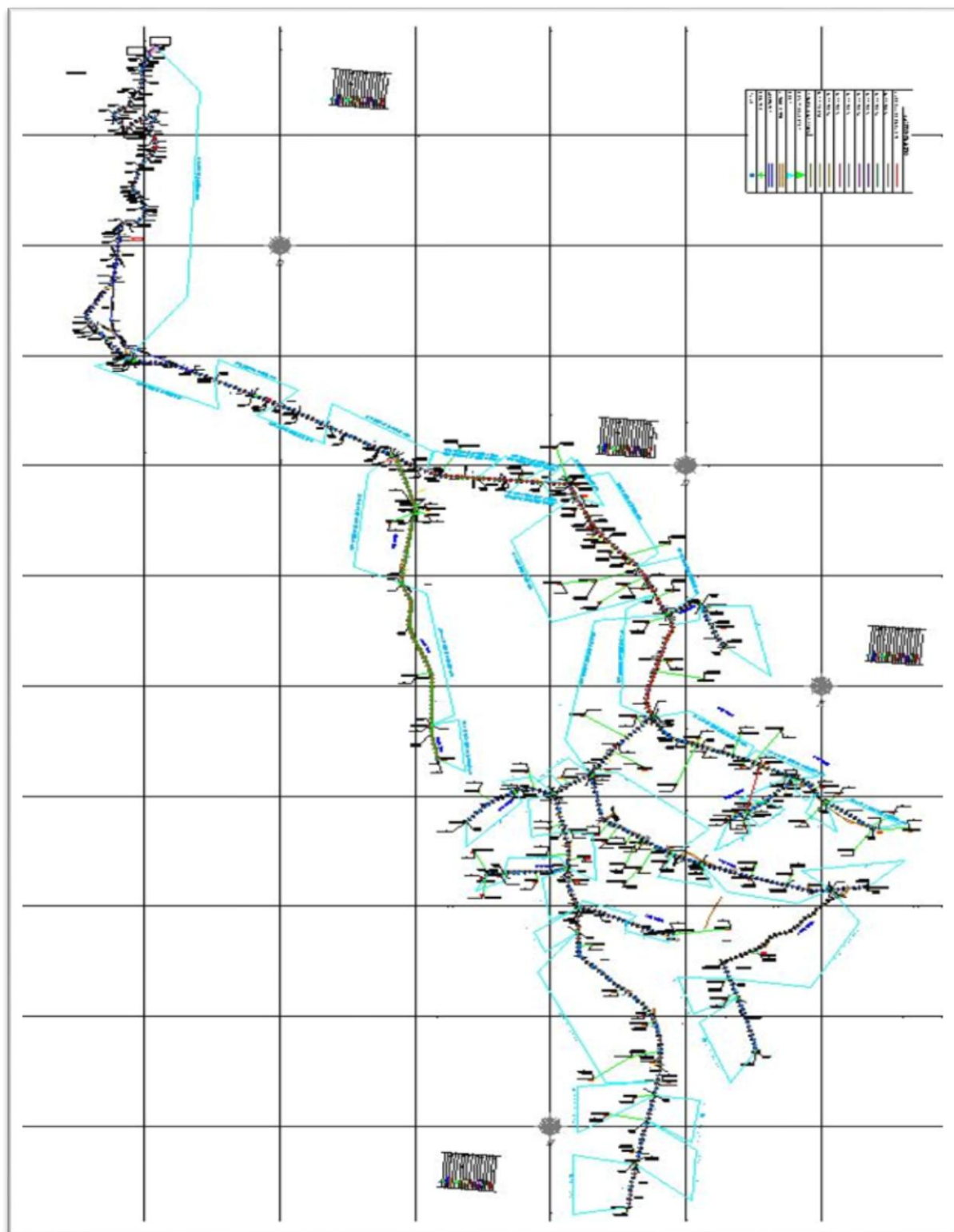
Es la estructura que capta las aguas de una fuente de agua superficial y las conducen a través de una tubería hasta el desarenador.

Los componentes de la bocatoma son: aletas o muros de contención, el muro de presa, la rejilla y la cámara de derivación.

El muro de presa se encuentra a lo ancho de la fuente de agua y su función es subir el nivel del agua y dirigirla hacia la rejilla para que luego llegue a la cámara de derivación. Las aletas o muros de contención se encuentran a los lados, su función es encauzar el agua y proteger las orillas de la fuente de agua.

Se encuentra construida sobre la quebrada San Antonio a la altura de la cota 3020.86 m.s.n.m. se trata de una estructura construida en concreto de 4000 PSI, concreto simple (cuerpo central y aletas), concreto reforzado (canal de captación y cajilla de recolección) de 4000 PSI y mejoramiento de pisos en concreto ciclópeo.

Figura 12. Esquema general del distrito de riego Asoyamesquer



En la Figura 13 Se ilustra los componentes de la bocatoma y Figura 14 la bocatoma con la caja de derivación en funcionamiento.

Figura 13. Esquema básico componentes de la bocatoma

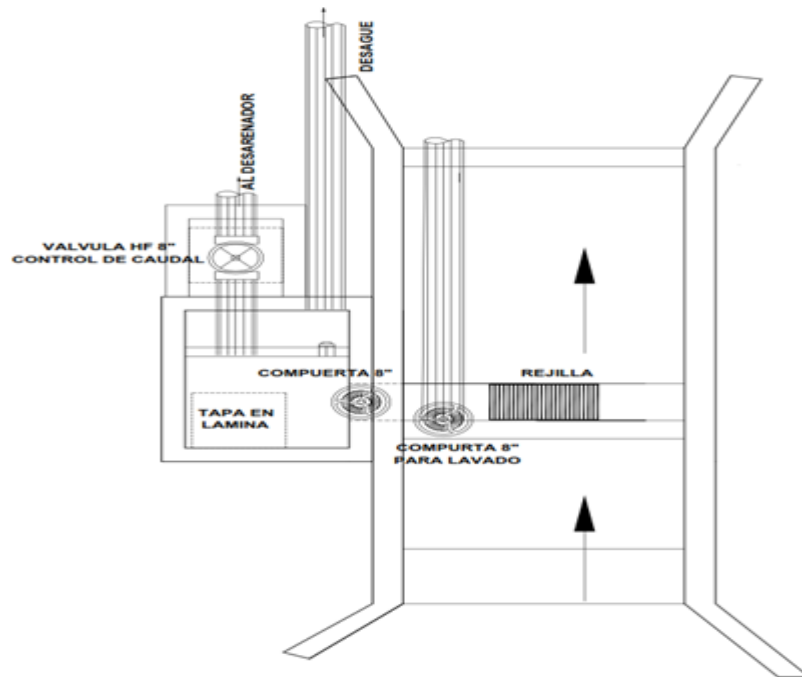


Figura 14. Fotografía de Bocatoma y caja de derivación cota K00+00



La bocatoma contiene las siguientes partes:

- ♦ Rejilla para bocatoma, instalada en el cuerpo central, con el propósito de captar el agua proveniente de la fuente, y tiene unas dimensiones de 0,4 m x 0,7 m con marco en ángulo y barrotes en acero de diámetro 3/4"
- ♦ Escalones para caja bocatoma, son 5 escalones en acero de diámetro 3/4"; instalados al interior de la cámara de derivación
- ♦ Rejilla tipo coladera en malla galvanizada (2x2) con marco - (45x45) cm instalada a la salida de la caja de derivación hacia la línea de aducción, con el fin de realizar la retención de hojas y pedazos de madera
- ♦ Suministro e instalación accesorios bocatoma, se refiere a la instalación de volante, vástago y válvula tipo guillotina localizados en el dique de la bocatoma, y volante, vástago y válvula tipo guillotina localizados en la caja de derivación.

8.3.2 Aducción.

La instalación de la línea de aducción se realizó en tubería PVC marca DURMAN Y comprende el Suministro e instalación de tubería 8" RDE 41 UP, en una longitud de 14 ml, debido a que la tubería queda expuesta, se recubrió toda la línea de aducción con concreto 3000 PSI cimientos, anclajes y recubrimientos, utilizando además acero de refuerzo, tanto longitudinal como transversal, y garantizar así la estabilidad de dicha línea de aducción.

En la Figura 15 se presenta el perfil del canal de aducción con sus respectivas dimensiones y en la Figura 16 la estructura en el terreno antes del recubrimiento y después de este.

En la *Tabla 11* se presentan las dimensiones del canal de aducción

Tabla 11 Dimensiones canal de aducción

Dimensión	Cantidad	Unidad de medida
Ho=	0,312215445	m
LC=	1,25	
He=	1,562215445	m
he=	0,030368384	m
BL=	0,100000000	m

Figura 15. Perfil canal de aducción.

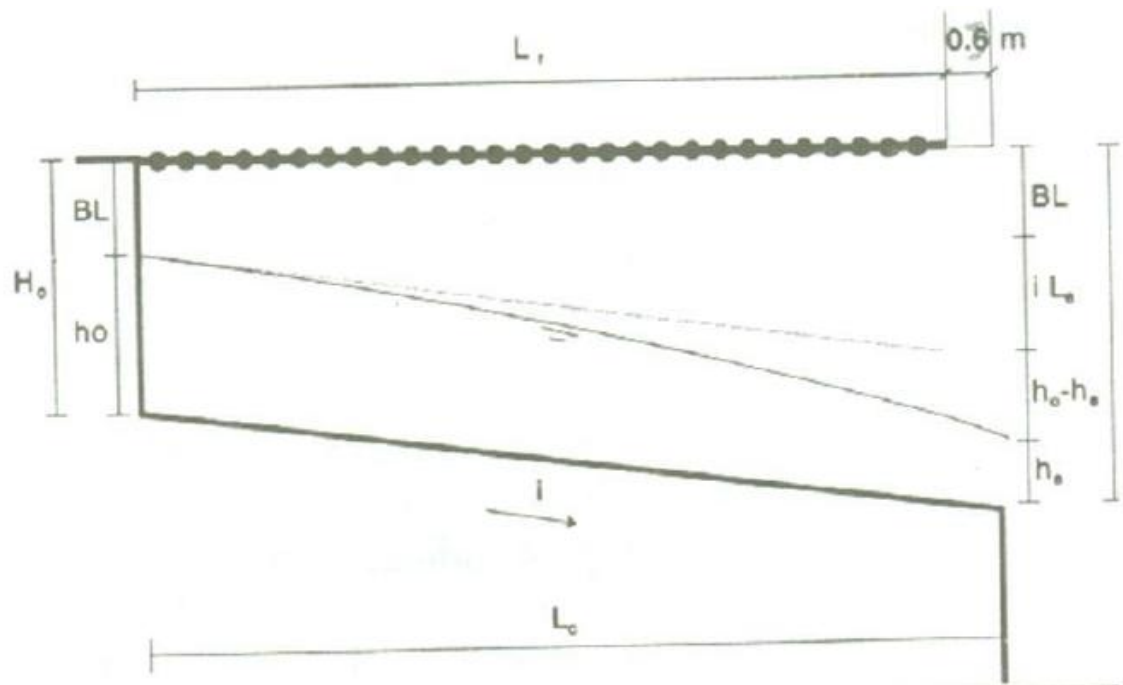


Figura 16. Fotografía de la línea de aducción diámetro 8" y con refuerzo de concreto, tomado en la cota k0+015



8.3.3 Desarenador.

Es una estructura hidráulica, que permite retener y evacuar los sedimentos como arenas y gravas. En la Figura 17 se presenta una fotografía tomada al desarenador en la cota K0+ 015, en la Figura 18 se muestra un esquema del desarenador con

sus principales componentes y en la Figura 19 se indican las dimensiones con las que fue construido.

Figura 17. Fotografía del Desarenador en funcionamiento cota de ubicación k0+015



El desarenador está construido en concreto reforzado, con una longitud de 7.9 mts, un ancho de 2.0 mts y una altura promedio de 1.6 mts. Está provista de una válvula de compuerta lateral de vástago ascendente, de diámetro 8" para el lavado (limpieza de lodos) y mantenimiento de la misma; con salida a la conducción principal a través de válvula de control de diámetro 8". Ver Figura 12 Esquema del desarenador.⁴⁷ Y Figura 13 Dimensiones del Desarenador⁴⁸

El tiempo óptimo de llenado del desarenador está registrado entre 17 - 18 minutos, esto nos garantiza que el caudal de llenado es igual al caudal de captación que es de 17.7 litros por segundo, este caudal es el que nos garantiza el buen funcionamiento de cada uno de los turnos del distrito.

El desarenador está construido en concreto reforzado de 4000 PSI, con una longitud de 7.9 mts, un ancho de 2.0 mts y una altura promedio de 1.6 mts.⁴⁹ El espesor de las paredes y el piso es de 20 cm y la tapa 15 cm., el acero de refuerzo es de 3/8" y 1/2" y se instaló de acuerdo a los planos de diseño.

El mejoramiento de piso se realizó en concreto ciclópeo (Concreto 2.500 PSI, Rajón 40%), concreto elaborado con mezcladora, con una dosificación de

⁴⁷ ASOYAMUESQUER. Manual de operaciones y mantenimiento distrito de riego Yamuésquer

⁴⁸ Ibid.

⁴⁹ INFORME FINAL DE INTERVENTORÍA – PROYECTO “ASOYAMUÉSQUER”

- ♣ Tubería pvc 8" rde 41 para rebose y lavado.

8.3.4 Conducción y redes de distribución.

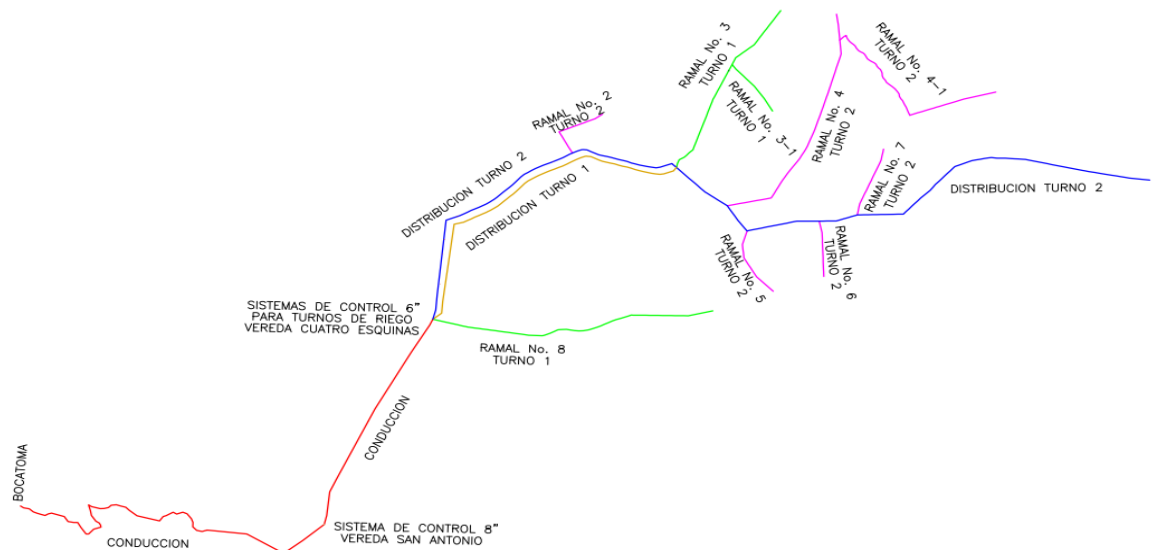
El proyecto está diseñado para operar en dos turnos de riego, el manejo de los turnos se lo realiza en el sistema de control de 6" (K2+866), es este sitio se desprenden dos redes de distribución paralelas, de las cual se desprenden los diferentes ramales. En la Figura 20 se presenta Instalación de tubería PVC de diferentes diámetros para la línea de conducción principal, a la derecha se observa al personal trabajando en el canal para ubicar la conducción y a la izquierda la tubería de la conducción antes de ser instalad.

Figura 20. Imagen de la Instalación de la tubería conducción principal ubicada en la cota inicial K0+015 hasta K2+866.



A continuación presenta en la Figura 21 La conducción y los diferentes ramales que conforman la red de distribución del proyecto, así como también los turnos establecidos para riego, esta figura se presentara como anexo en un formato que

Figura 21. Conducción y redes de distribución.



permita ser detallada.

Conducción principal.

A partir del desarenador se desprende la conducción principal, la cual está compuesta de una red central en tuberías en PVC en diámetros de 8" y 6".

La instalación de la línea de conducción principal tubería PVC marca DURMAN; comprende el Suministro e instalación de tubería 8" RDE 41 UP entre la abscisa K0+015 hasta la abscisa K1+880, Suministro e instalación de tubería 6" RDE 41 UP entre la abscisa K1+880 hasta la abscisa K2+120, Suministro e instalación de tubería 6" RDE 26 UP entre la abscisa K2+120 hasta la abscisa K2+380, Suministro e instalación de tubería 6" RDE 32,5 UP entre la abscisa K2+380 hasta la abscisa K2+580 y Suministro e instalación de tubería 6" RDE 41 UP entre la abscisa K2+580 hasta la abscisa K2+866.

En la Tabla 12. Se detalla los diferentes diámetros de tubería con sus respectivos RDEs correspondientes.

Tabla 12. Lista de tubería para conducción

DESCRIPCION	ABSCISA	
	INICIAL	FINAL
Tubería PVC 8" RDE 41 UM.	-K0+002.08	K1+878.27
Tubería PVC 6" RDE 41 UM.	K1+878.27	K2+120.00
Tubería PVC 6" RDE 26 UM.	K2+120.00	K2+380.00
Tubería PVC 6" RDE 32.5 UM.	K2+380.00	K2+580.00
Tubería PVC 6" RDE 41 UM.	K2+580.00	K2+866.00
Termina conducción, inician redes de distribución paralelas para turnos		

A continuación se presenta en la *Tabla 13* se presentan los Diámetro de la tubería utilizada en la red de distribución del turno no. 1 y en la *Tabla 14* el turno no.2 respectivamente.

Tabla 13. Red de distribución turno 1.

DESCRIPCION	ABSCISA	
	INICIAL	FINAL
Tubería PVC 6" RDE 41 UM.	K2+866.00	K3+200.00
Tubería PVC 6" RDE 26 UM.	K3+200.00	K3+360.00
Tubería PVC 6" RDE 32.5 UM.	K3+360.00	K3+440.00
Tubería PVC 6" RDE 41 UM.	K3+440.00	K3+600.00
Tubería PVC 4" RDE 32.5 UM.	K3+600.00	K4+140.00
Tubería PVC 3" RDE 32.5 UM.	K4+140.00	K4+730.33
Termina red de distribución Turno 1, inicia Ramal No. 3 Turno 1		

Tabla 14. Tubería red de distribución turno 2

DESCRIPCION	ABSCISA	
	INICIAL	FINAL
Tubería PVC 6" RDE 41 UM.	K2+866.00	K3+200.00
Tubería PVC 6" RDE 26 UM.	K3+200.00	K3+360.00
Tubería PVC 6" RDE 32.5 UM.	K3+360.00	K3+440.00
Tubería PVC 6" RDE 41 UM.	K3+440.00	K4+000.00
Tubería PVC 4" RDE 32.5 UM.	K4+000.00	K4+730.33
Termina red paralela		
Tubería PVC 4" RDE 32.5 UM.	K4+730.33	K5+180.00
Tubería PVC 4" RDE 26 UM.	K5+180.00	K5+410.17
Tubería PVC 3" RDE 26 UM.	K5+410.17	K5+876.70
Tubería PVC 2" RDE 21 UM.	K5+876.70	K6+669.89
Tubería PVC 2" RDE 26 UM.	K6+669.89	K6+735.06
Tubería PVC 1 1/2" RDE 21 US.	K6+735.06	K6+853.80
Tubería PVC 1" RDE 21 US.	K6+853.80	K7+044.67
Tubería PVC 3/4" RDE 21 US.	K7+044.67	K7+261.83
Termina red de distribución Turno 2		

En las Tabla 15 se presenta el listado de diámetros utilizados en los ramales que comprenden el turno uno y en la Tabla 16 el turno dos con los diámetros de tubería utilizados.

Tabla 15. Ramales turno número uno.

RAMAL	DESCRIPCION	ABSCISA	
		INICIAL	FINAL
No.8	Tubería PVC 2" RDE 26 UM.	K0+000.00	K0+143.01
	Tubería PVC 1 1/2" RDE 21 US.	K0+143.01	K0+520.22
	Tubería PVC 1" RDE 21 US.	K0+520.22	K1+185.06
	Tubería PVC 3/4" RDE 21 US.	K1+185.06	K1+344.35
No.3	Tubería PVC 3" RDE 32.5 UM.	K0+000.00	K0+411.42
	Tubería PVC 2" RDE 26 UM.	K0+411.42	K0+718.87
	Tubería PVC 2" RDE 21 UM.	K0+718.87	K0+776.20
	Tubería PVC 1" RDE 13.5 US.	K0+776.20	K0+991.48
No. 3-1	Tubería PVC 1 1/2" RDE 21 US.	K0+000.00	K0+155.75
	Tubería PVC 1" RDE 21 US.	K0+155.75	K0+237.53
	Tubería PVC 3/4" RDE 21 US.	K0+237.53	K0+314.27

Tabla 16. Tubería ramales turno dos.

RAMAL	DESCRIPCION	ABSCISA	
		INICIAL	FINAL
No 2	Tubería PVC 1" RDE 21 US.	K0+000.00	K0+152.63
	Tubería PVC 3/4" RDE 21 US.	K0+152.63	K0+355.18
No.4-1	Tubería PVC 3" RDE 26 UM.	K0+000.00	K0+518.03
	Tubería PVC 2" RDE 26 UM.	K0+518.03	K0+632.51
	Tubería PVC 1 1/2" RDE 21 US.	K0+632.51	K1+130.30
	Tubería PVC 3/4" RDE 11 US.	K1+130.30	K1+271.04
No.4-1	Tubería PVC 1" RDE 21 US.	K0+000.00	K0+712.41
	Tubería PVC 1" RDE 13.5 US.	K0+712.41	K0+781.02
	Tubería PVC 3/4" RDE 11 US.	K0+781.02	K1+055.38
No 5	Tubería PVC 1" RDE 21 US.	K0+000.00	K0+137.56
	Tubería PVC 3/4" RDE 21 US.	K0+137.56	K0+376.45
NO 6	Tubería PVC 1 1/2" RDE 21 US.	K0+000.00	K0+240.23
	Tubería PVC 1" RDE 21 US.	K0+240.23	K0+299.48
NO 7	Tubería PVC 3/4" RDE 21 US.	K0+000.00	K0+196.04
	Tubería PVC 3/4" RDE 11 US.	K0+196.04	K0+375.85

8.3.5 Válvulas ventosas.

Son válvulas que se emplean para expulsar aire de la línea de conducción, se ubican en las partes altas. La presencia de cantidades incontroladas de aire en un sistema de riego puede reducir seriamente su rendimiento. En casos extremos, el flujo se puede incluso detener. En el sistema de riego se instalaron ventosas plásticas, de marca DOROT en la Tabla 17 se presenta una relación de válvulas y la ubicación dentro del proyecto y en la Figura 22 la instalación de una válvula.

Figura 22. Instalación de válvulas ventosas



Para la instalación de cada una de las válvulas ventosas, localizadas sobre la tubería de 8" y la tubería de 6", se utilizó un collarín en PVC de diámetro 8" x 2" y 6" x 2" según sea el caso, se utilizó además un niple de tubería de diámetro 2", una llave de corte de diámetro 2" y la válvula ventosa de diámetro 2".

Tabla 17. Ubicación ventosa

DESCRIPCION	RAMAL	DIAMETRO	ABSCISA
		TUBERIA	
VENTOSA 2"	CONDUCCION	8"	K0+015.00
VENTOSA 2"	CONDUCCION	8"	K0+087.00
VENTOSA 2"	CONDUCCION	8"	K0+330.00
VENTOSA 2"	CONDUCCION	8"	K0+440.00
VENTOSA 2"	CONDUCCION	8"	K0+560.00
VENTOSA 2"	CONDUCCION	8"	K0+850.00

VENTOSA 2"	CONDUCCION	8"	K1+045.00
VENTOSA 2"	CONDUCCION	8"	K1+260.00
VENTOSA 2"	CONDUCCION	8"	K1+435.00
VENTOSA 2"	CONDUCCION	8"	K1+670.00
VENTOSA 2"	CONDUCCION	8"	K1+860.00
VENTOSA 2"	CONDUCCION	8"	K2+460.00
VENTOSA 2"	CONDUCCION	8"	K2+660.00
VENTOSA 2"	CONDUCCION	8"	K2+800.00
VENTOSA 2"	CONDUCCION (DOBLE TUBERIA)	6"	K2+960.00
VENTOSA 2"	CONDUCCION (DOBLE TUBERIA)	6"	K2+960.00
VENTOSA 2"	RED DE DISTR (DOBLE TUBERIA)	6"	K3+540.00
VENTOSA 2"	RED DE DISTR (DOBLE TUBERIA)	6"	K3+540.00

8.3.6 Purgas.

Son válvulas que se emplean para expulsar sedimentos y desechos de la línea de conducción. En la Figura 23 se observa una válvula purga instalada. El purgado debe hacerse hasta que el chorro de agua que sale del tubo sea continuo y hasta que ya no salga suciedad, realmente actúan como válvulas de lavado, se ubican en las partes bajas de la conducción.⁵⁰

Figura 23. Purgas



Las purgas instaladas son de HF y están protegidas por una cajilla con tapa en lámina.

⁵⁰ ASOYAMUÉSQUER. Informe final de interventoría – proyecto ASOYAMUÉSQUER”

En la Tabla 19 se presenta la ubicación de las válvulas de purga dentro del proyecto

Tabla 18. Ubicación válvulas purga.

DESCRIPCION	RAMAL	DIAMETRO	ABSCISA
		TUBERIA	
PURGA 3" HF	CONDUCCION	8"	K0+230.00
PURGA 3" HF	CONDUCCION	8"	K0+660.00
PURGA 3" HF	CONDUCCION	8"	K0+760.00
PURGA 3" HF	CONDUCCION	8"	K0+920.00
PURGA 3" HF	CONDUCCION	8"	K1+320.00
PURGA 2" HF	CONDUCCION	6"	K2+280.00
PURGA 2" HF	RED DE DISTR (DOBLE TUBERIA)	6"	K3+330.00
PURGA 2" HF	RED DE DISTR (DOBLE TUBERIA)	6"	K3+330.00

8.3.8 Cámaras de quiebre de presión.

Es una estructura de amortiguación que en un pequeño tanque de forma rectangular construida en concreto reforzado, las cuales están ubicadas estratégicamente según diseño hidráulico y se controla su funcionamiento mediante válvulas hidráulicas de control de nivel automáticas, cuyo objeto es garantizar la eliminación de control de sobrepresiones en la tubería. En la figura 18 se presenta una cámara de quiebre con sus respectivas tapas metálicas.

Se construyeron 2 Cámaras de quiebre tipo IV Diam = 2"; construidas en concreto reforzado de 4000 PSI más impermeabilizante Plastocrete DM de SIKA; el refuerzo del piso, de las paredes y las tapas de los compartimientos que forman la cámara de quiebre es en diámetro de 3/8".

En la *Figura 24* se presenta una fotografía de la cámara de quiebre en las cota K6+660 hasta K0+957 para conducción principal y ramal 4.

Cada cámara de quiebre está formada por una cámara de entrada donde se alojan la válvula de corte y la válvula automática, en seguida se encuentra la cámara central con su tabique en concreto reforzado de 4000 psi, en esta cámara central es donde se almacena el agua; en su interior se encuentra también el flotador metálico, que es quien hace el cierre para permitir la entrada o no del agua y encontramos además un niple de tubo sanitario utilizado para el rebose de la cámara de quiebre. Luego se encuentra la cámara de salida donde se encuentran las llaves de paso, con las cuales se regula el lavado de la cámara de quiebre.

Figura 24. Fotografía Cámara de quiebre ubicada en la cota k6+660 hasta k0+957 conducción principal y ramal 4



Cada una de estas cámaras tiene su respectiva tapa metálica y su respectivo candado. Las cámaras de quiebre fueron necesarias para optimizar el funcionamiento del sistema y para garantizar a los usuarios un mejor servicio.

Para el proyecto se construyeron dos (2) cámaras de quiebre, una ubicada en la red de distribución para el turno No. 2 en el K6+660 y la otra en el ramal No. 4 en el K0+957.

8.3.9 Accesorios.

Los accesorios utilizados fueron reducciones, uniones y tees; estos accesorios están localizados a lo largo de la línea de conducción principal, a lo largo de las líneas de conducción de cada ramal y en las acometidas. Se utilizaron accesorios en PVC marca PAVCO, y en los diferentes diámetros requeridos según la necesidad, lo anterior con el fin de unir los diferentes diámetros de tubería instalados y darle continuidad al sistema.

En la Figura 25 se observa algunos accesorios ya instalados, a la derecha una reducción de diferentes diámetros y a la izquierda la instalación de tee HF y en la *Tabla 19* se presenta una lista de los accesorios utilizados en el sistema de riego Yamuésquer.

Figura 25. Accesorios



Todos los accesorios fueron anclados, utilizando para ello concreto simple de 3000 PSI.

Tabla 19. Lista de accesorios

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
REDUCCIONES DE 8" A 6"	UND	1
REDUCCIONES DE 6" A 4"	UND	2
REDUCCIONES DE 4" A 3"	UND	2
REDUCCIONES DE 3" A 2"	UND	3
REDUCCIONES DE 2" A 1.5"	UND	3
REDUCCIONES DE 2" A 1"	UND	1
REDUCCIONES DE 1.5" A 1"	UND	4
REDUCCIONES DE 1.5" A 3/4"	UND	1
REDUCCIONES DE 1" A 3/4"	UND	8
CODO GRAN RADIO 8" X 90°	UND	2
CODO GRAN RADIO 8" X 45°	UND	4
CODO GRAN RADIO 8" X 22.5°	UND	12
CODO GRAN RADIO 6" X 45°	UND	4
CODO GRAN RADIO 6" X	UND	1

22.5°		
CODO GRAN RADIO 4" X 90°	UND	2
TEE HF 6"X6"	UND	1
TEE HF 6"X2"	UND	1
TEE HF 4"X2"	UND	3
TEE HF 3"X2"	UND	2

8.3.10 Válvulas de corte y control.

Son accesorios instalados en diversos sectores de la conducción y red de distribución, que permiten interrumpir el flujo de agua y aislar tramos de tubería, para efectos de mantenimiento o reparaciones en daños que presente la tubería.

En la red se instalaron:

- ♦ 1 Válvulas de compuerta de 8", localizada a la salida del desarenador en la abscisa K0+015.
- ♦ 2 Válvulas de compuerta de 6", localizadas en la abscisa K2+866, junto al sistema de control de 6"
- ♦ 3 Válvulas de compuerta de 4", localizadas en las abscisas K4+730, K5+075 y K5+230
- ♦ 2 Válvulas de compuerta de 3", localizadas en las abscisas K4+730 y K5+075
- ♦ 1 Válvula de compuerta de 2"; localizada en la abscisa K0+200 sobre la línea de conducción del ramal No. 8.

Además se instalaron llaves de paso tipo cortina, de diámetros 1 1/2", 1" y 3/4", localizadas en el arranque de cada uno de los ramales y en el diámetro requerido para cada uno de ellos; con el fin de individualizar y sectorizar cada uno de los ramales, en el caso de presentarse daños y no tener que cerrar todo el sistema.

8.3.11 Sistemas de control y macro medidor.

Los sistemas de control están conformados por tres válvulas, una válvula HF. De corte, una válvula de control automática y un filtro en "Y". Ver la Figura 26 y Tabla 20 en la cual se enumeran los sistemas instalados y su ubicación en el sistema

Están ubicados en sitios estratégicos del proyecto, y sirven para regular y suspender el suministro de agua al sistema.

El macro medidor, está diseñado para medir altos caudales con una mínima pérdida de carga, ofreciendo alta confiabilidad y exactitud de funcionamiento por un largo tiempo de uso.

Para los sistemas de control se construyeron cajillas de mayor tamaño, debido a que tienen que proteger 3 elementos; a igual que las anteriores cajillas también tienen tapas metálicas.

Figura 26. Sistema de corte y macro medidor



Tabla 20. Ubicación sistemas control y macro-medidor

DESCRIPCION	RAMAL	DIAMETRO TUBERIA	ABSCISA
SISTEMAS DE CONTROL 8"	CONDUCCION	8"	K1+880.00
MACROMEDIDOR 8"	CONDUCCION	8"	K1+900.00
SISTEMAS DE CONTROL 6"	RED DE DISTR (DOBLE TUBERIA)	6"	K2+866.00
SISTEMAS DE CONTROL 4"	RED DE DISTRIBUCION TURNO 2	4"	K4+724.00
SISTEMAS DE CONTROL 2"	RAMAL No. 2	2"	K0+160.00

8.3.12 Pasos elevados.

Son estructuras que se construyen para que la tubería pueda cruzar un obstáculo sin perder presión en la Figura 27 se muestran los pasos elevados.

A lo largo de la conducción, existen pasos elevados contruidos para sobrepasar corrientes de agua, estos se realizaron en estructuras metálicas y en concreto reforzado en la Tabla 21 la ubicación en el terreno.

Figura 27. Pasos elevados. Instalación de estructura metálica para los pasos elevados soporte de la tubería de diámetro 8" y 6" k0+700 y k0+ 740



Los viaductos construidos son los siguientes:

Tabla 21. Ubicación pasos elevados

DESCRIPCION	RAMAL	LONGITUD Mts.	ABSCISA
PASO ELEVADO (CERCHA)	CONDUCCION	12.00	K0+700.00
PASO ELEVADO (CERCHA)	CONDUCCION	12.00	K0+740.00
PASO ELEVADO (CONCRETO)	CONDUCCION	12.00	K2+280.00
PASO ELEVADO (CERCHA)	CONDUCCION	12.00	K2+335.00
PASO ELEVADO (CONCRETO)	RED DE DISTRIBUCION	10.00	K3+300.00

9. SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DISTRITO YAMUESQUER

9.1 Metodología.

Para llevar a cabo la modelación de la red del distrito de riego de Yamuésquer se aplicó la siguiente metodología

8.1.1 Recolección de información existente y en campo.

Como punto de partida se contó con información del catastro de la red existente. Esta incluyó diámetros y longitud de tuberías, localización de válvulas e hidrantes, características de puntos de interés como desarenador, bocatoma y cámaras de quiebre de presión. En este proceso fue de gran importancia el apoyo de ingenieros que participaron el proceso de construcción del distrito de riego, los cuales conocen el funcionamiento del sistema y de esta manera presentar una modelación con datos reales.

La información del consumo diario de agua se tomó a partir de los estudios realizados en la fase de diseño hidráulico del distrito de riego.

8.1.2 Esquematzación de la red.

Para la simulación hidráulica de la red de distribución se utilizó el software Epanet, el cual fue desarrollado por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (USEPA). Actualmente Epanet es uno de los paquetes informáticos más completo que existe en el campo de la simulación de sistemas hidráulicos, hecho que unido a su distribución libre hace que sea el software más difundido a nivel mundial.

Epanet permite la simulación de todo tipo de redes de distribución de agua de una forma sencilla, con un número cualquiera de elementos hidráulicos incluyendo depósitos, sistemas de bombeo, válvulas, tuberías, utilizando una interfaz gráfica sencilla. Este software permite además realizar cálculos incluyendo curvas de demanda y simular fugas en diferentes puntos de la red de distribución.

Con la información de la red, se construyó el modelo hidráulico en Epanet. En este se incluyeron los elementos que conforman el sistema. Para representar los tanques de almacenamiento se asumió un reservorio de altura variable, cuya cabeza se definió como la presión de salida del desarenador.

8.1.3 Simulación de la red y evaluación de los escenarios.

Una vez se contó con la esquematización de la red en Epanet, se procedió a asignar las demandas de los nodos del sistema. Para esto, se consideró la demanda de agua que se estima para cada hectárea, donde se encuentran ubicados los hidrantes, y el cual corresponde a 0.3 L/s, para cada uno de los 113 que se encuentran instalados.

Para corroborar que lo representado en el modelo se ajusta a la realidad, se realizó una calibración introduciendo valores de presión en los puntos de monitoreo existentes en la red.

Luego de que se asignaron factores de pérdidas, se realizó la simulación de la red en Epanet y se definieron los escenarios a representar en el modelo.

8.2 Resultados

8.2.1 Características del distrito de riego empleado para la simulación.

La red del sistema de riego de Yamuésquer está compuesta por tuberías de diámetro $\frac{3}{4}$, 1", 1 $\frac{1}{2}$ ", 2", 3", 4", 6" y 8" con diferentes RDE que van desde RDE 11 Hasta RDE 41. Está dividida en 2 sectores, de acuerdo al planteamiento de diseño. De la tubería principal que va en 8" se hacen 2 derivaciones para abastecer los diferentes usuarios, lo cual se realiza un control mediante válvulas de cierre. En el momento, se cuenta con un macro medidor en la abscisa 2890 antes de iniciar las redes de los dos turnos, entre el nodo 29 y 30 en EPANET.

Tabla 22. Características de la red de distribución.

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	VALOR
Nodos del sistema	-----	275
Distribución de caudal por nodo de demanda para riego	L/s	0.3
Longitud total de la red de distribución	km	22.5
Nodos con consumo	-----	113

Tabla 23. Características de la red de distribución.

DIAMETRO	RDE	LONG (mts)
8	41	1.931
6	41	2.049
6	32,5	376
6	26	606
4	32,5	1.725
4	26	231
3	32,5	1.041
3	26	988
2	26	685
2	21	856
1 1/2	21	1.398
1	21	2.628
1	13,5	293
3/4	21	6.175
3/4	11	1.535

8.2.2 Esquematzación de la red en Epanet.

La representación de la red de abastecimiento se realizó considerando todos los elementos que componen el sistema, como son: tuberías, válvulas, acometidas y reservorio.

Con la información actualizada de la construcción del sistema se logró hacer una representación del sistema ajustada a la realidad. Como resultado de este proceso, se obtuvo la esquematización en Epanet que se presenta en la *Figura 28*.

La *Figura 28*, muestra la esquematización de la red de distrito de riego de todo el sistema, tanto la red principal como sus ramales.

Como se ha descrito en capítulos anteriores, el funcionamiento de la red se presenta en 2 turnos, que se tiene planificado un funcionamiento de 2 días para cada turno, de manera independiente, de tal manera que cuando funciona el turno 2, se realce el cierre del paso de caudal para la red que alimenta el turno 1. Por lo tanto se ha realizado la esquematización de manera independiente de acuerdo al funcionamiento. Sin embargo más adelante analizaremos de qué manera funciona el sistema cuanto se permita alimentar los dos turnos de manera simultánea.

Figura 28 Esquematización General del distrito de riego Yamuésquer la red en Epanet

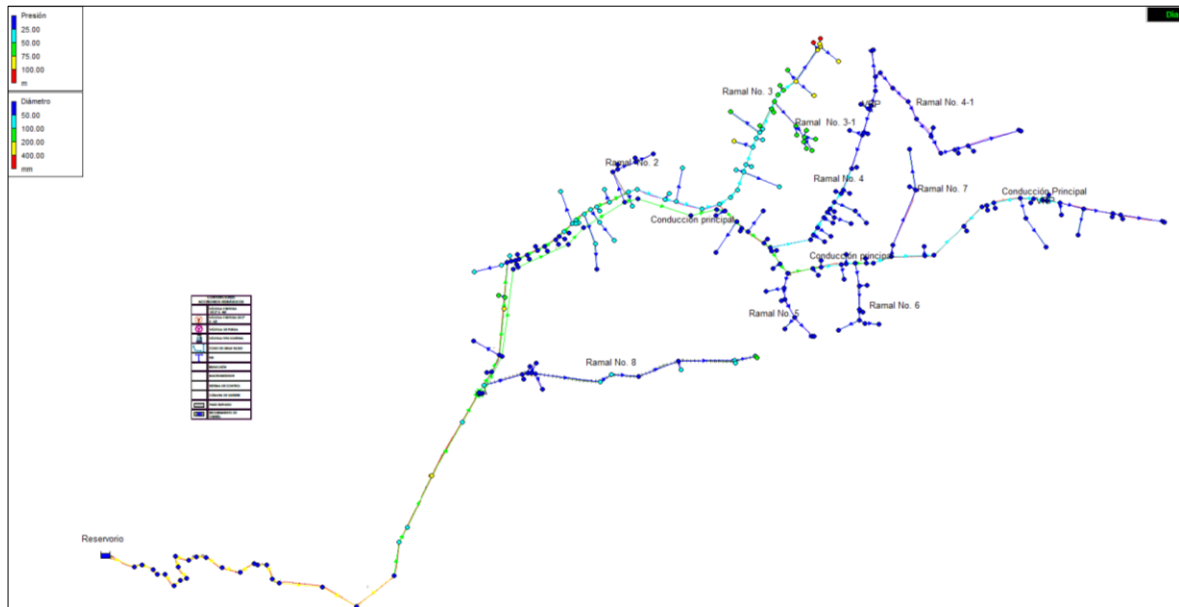


Figura 29. Esquematización de la red del distrito de riego Yamuésquer en Epanet Turno 1.

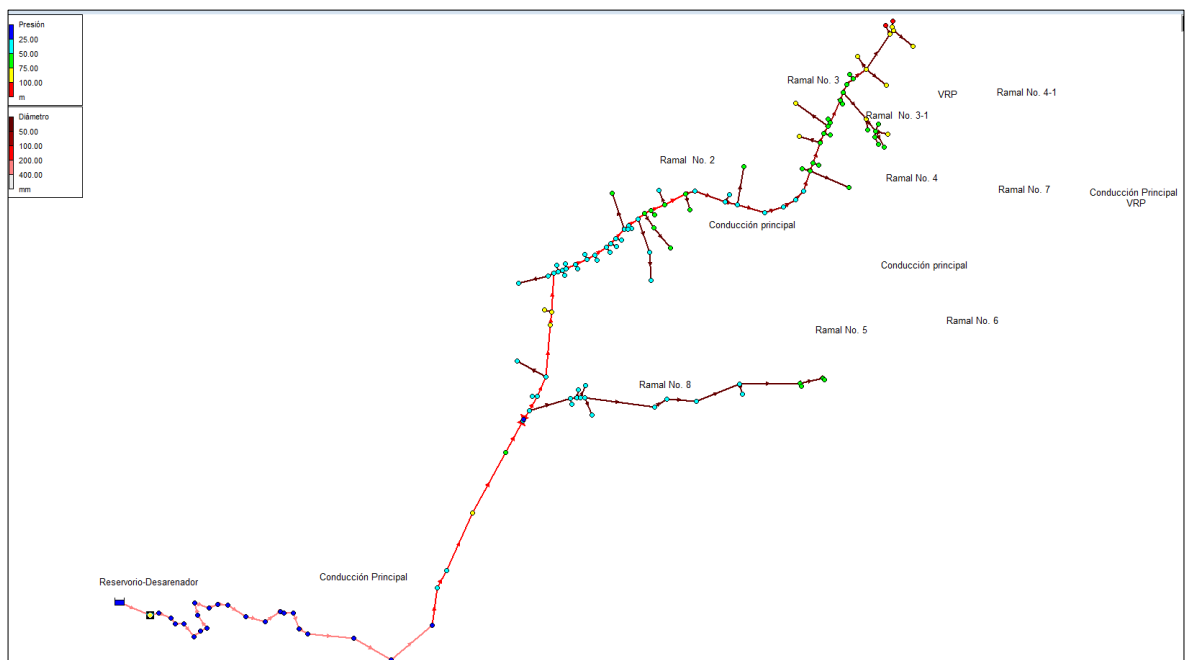
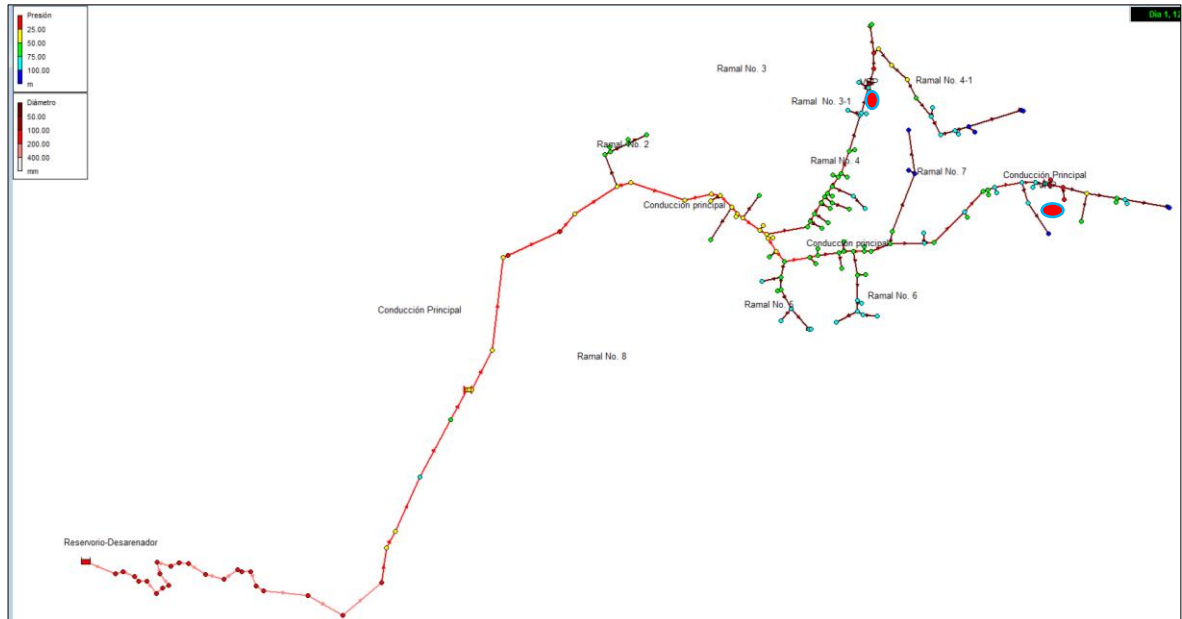


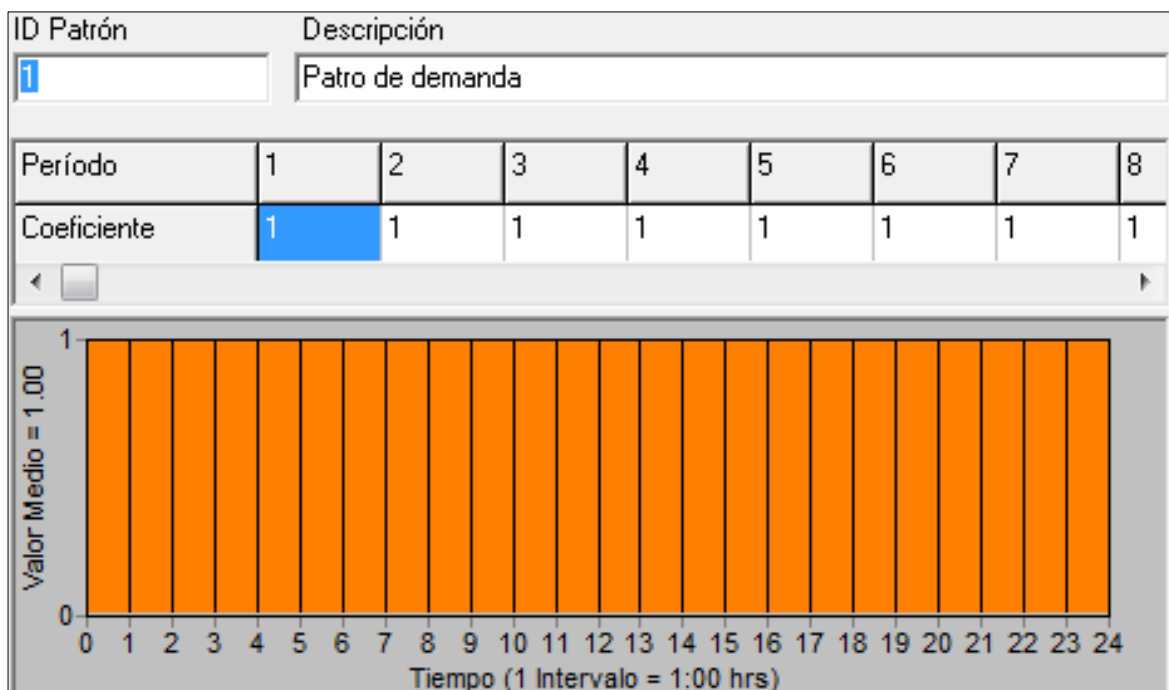
Figura 30. Esquematización de la red del distrito de riego Yamuesquer en Epanet Turno 2.



8.2.3 Modelación del escenario base.

Una vez se esquematizó la red en Epanet, se realizó la simulación extendida del sistema para un periodo de 24 horas. Teniendo en cuenta que el escenario crítico es el consumo en todos y cada uno de los predios con hidrantes, se realiza el análisis del escenario base con un patrón de consumo de 1. En la Figura 31 se presenta el patrón de consumo horario para los nodos.

Figura 31 Patrón de consumo escenario base



8.2.3.1 Calibración del modelo hidráulico.

Para validar el modelo, se solicitó información de presión en los puntos de monitoreo de la red (*Tabla 24* y *Tabla 25*). Estos datos se ingresaron en los nodos correspondientes del modelo, para realizar la calibración

Tabla 24. Datos de calibración Turno 2

Nodo	Hora	Presión (MCA)
98	12	72.1
101	12	81.90
203	12	77.0
186	12	124.60
273	12	166.60
212	12	136.50
226	12	108.50
237	12	150.50
251	12	189.0
263	12	93.10

Tabla 25. Datos de calibración Turno 1

Nodo	Hora	Presión (MCA)
56	12	35
55	12	39.20
74	12	41.3
82	12	60.9
94	12	53.9
144	12	113.4

Para lograr que lo simulado en Epanet se ajuste a la realidad de operación de la red, es importante considerar las pérdidas de carga por accesorios, sin embargo observaremos que las presiones modeladas son menores a las encontradas por lo cual si se asigna factores la incertidumbre aumenta. Este tema se analizará más adelante.

En la *Figura 32* se presentan los resultados de la calibración en Epanet para los 6 puntos de monitoreo para el turno 1. Se puede observar que los valores de presión obtenidos con el modelo son muy similares a los valores reales, por lo cual existe un buen ajuste entre lo modelado y lo medido, lo que permite validar la calibración del modelo y concluir que está en la capacidad de representar las condiciones de operación de la red. Sin embargo se ve que la presión medida en campo es levemente mayor que la modelada.

Figura 32 Resultados de la calibración en Epanet Turno 1

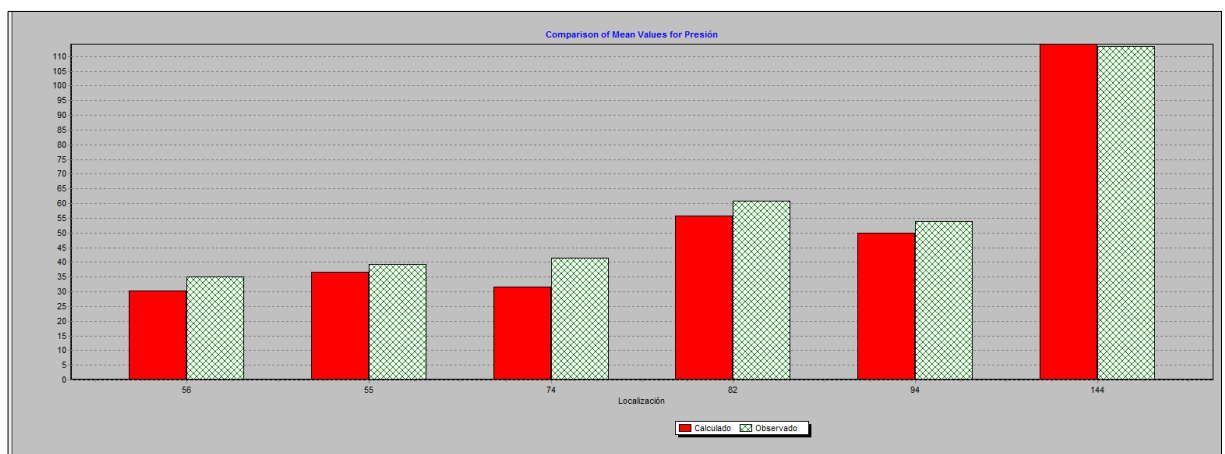
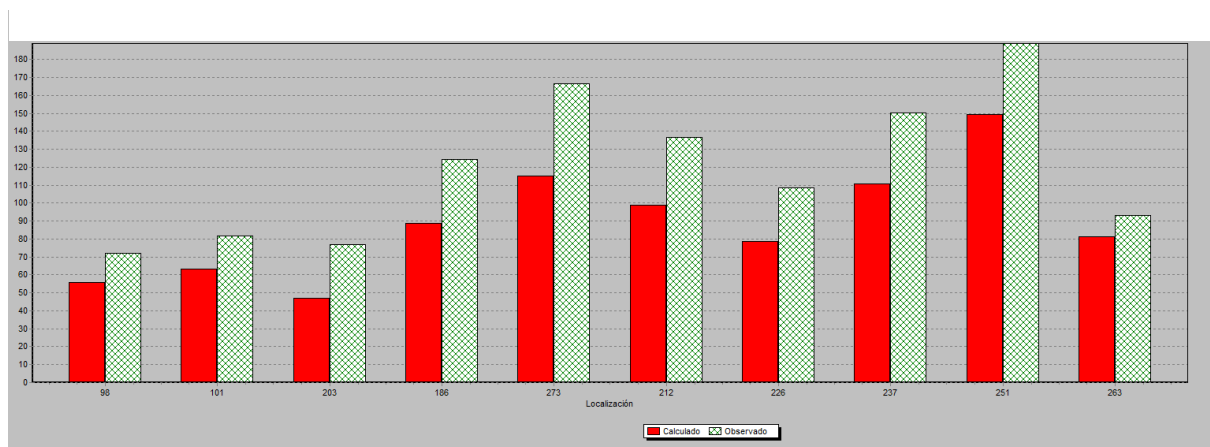


Figura 33 Resultados de la calibración en Epanet Turno 2



En la Figura 33 se presentan los resultados de la calibración en Epanet para los 10 puntos de monitoreo en el turno 2. Se puede observar que los valores de presión obtenidos con el modelo están por debajo de los valores reales. Al observar esta situación se analizó detalladamente los datos del modelo y se realizó la comparación de la altura estática, presión medida en campo y presión dinámica modelada. A continuación se presenta la tabla comparativa.

Tabla 26. Datos comparativos presiones

Cota Bocatoma /Referencia	Cota Nodo	Altura estática	Nodo	Presión Medida Campo	Presión dinámica EPANET
3023	2944,8	78,2	98	72,1	55,74
3023	2932,37	90,63	101	81,9	63,27
3023	2949,93	73,07	203	77	47,24
3023	2898,21	124,79	186	124,6	88,81
2889,94*	2743,82	146,12	273	166,6	115,10
3023	2888,08	134,92	212	136,5	99,09
3023	2914,25	108,75	226	108,5	78,6
3023	2869,44	153,56	237	150,5	110,58
3023	2830,31	192,69	251	189	149,23
2891,5*	2805,68	85,82	263	93,1	81,5

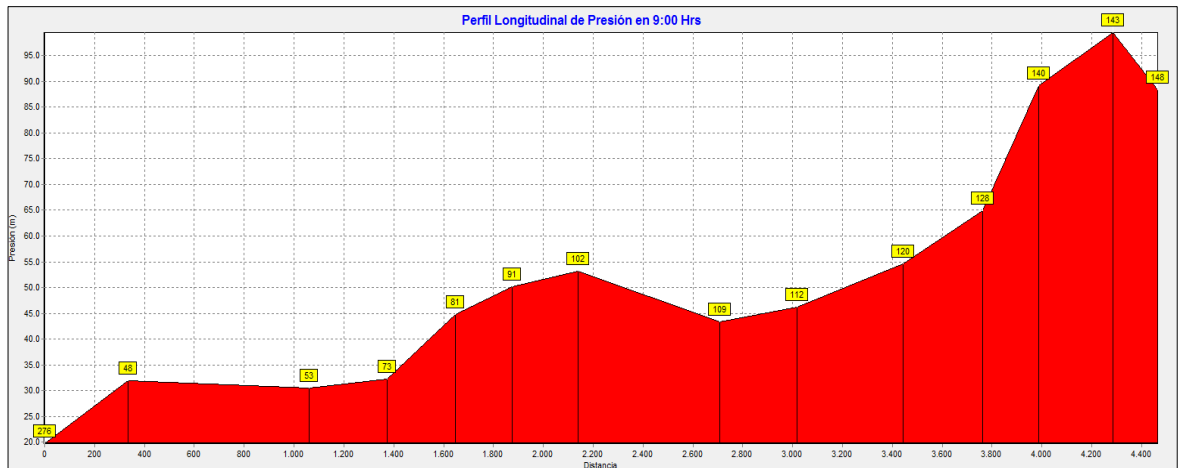
* Cota de referencia de cámara de quiebre de presión.

En la Tabla 26, se puede observar en las celdas marcadas de color azul que la altura estática en estos nodos es menor que la presión medida en campo, por lo cual son datos que no tienen coherencia, pues en un sistema existen perdidas por accesorios, fricción de tubería, pérdidas de agua, etc. Lo cual hace que la presión dinámica medida en campo sea siempre menor a la altura estática o presión estática. Por esta razón se puede realizar el análisis de que el manómetro pudo haber estado descalibrado al momento de realizar las mediciones o no se realizó de manera correcta.

8.2.3.2 Análisis del escenario base Turno 1 y 2.

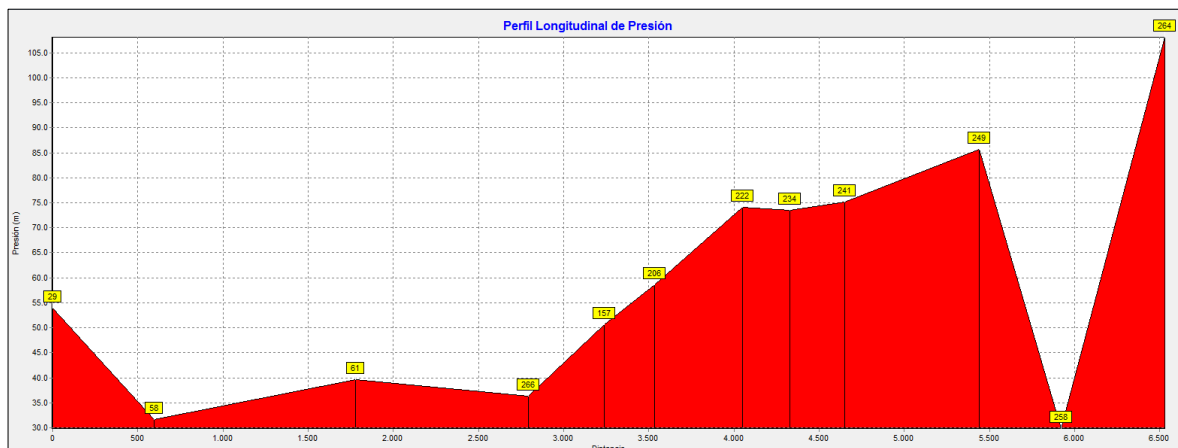
Turno 1.

Figura 34. Perfil longitudinal de presión Tramo principal Turno 1



Como resultado de la modelación de la red de abastecimiento en Epanet, en la Figura 34 se muestra la variación de presión entre los nodos 276 y 148 del turno 1, dentro de los cuales están los hidrantes para riego. En esta grafica se observa que los mayores valores se presentan entre los nodos 120 y 148. Sin embargo en ningún punto se presentan presiones menores a 20 mca; Presión requerida para el perfecto funcionamiento de los aspersores de $\frac{3}{4}$ " marca Senninger.

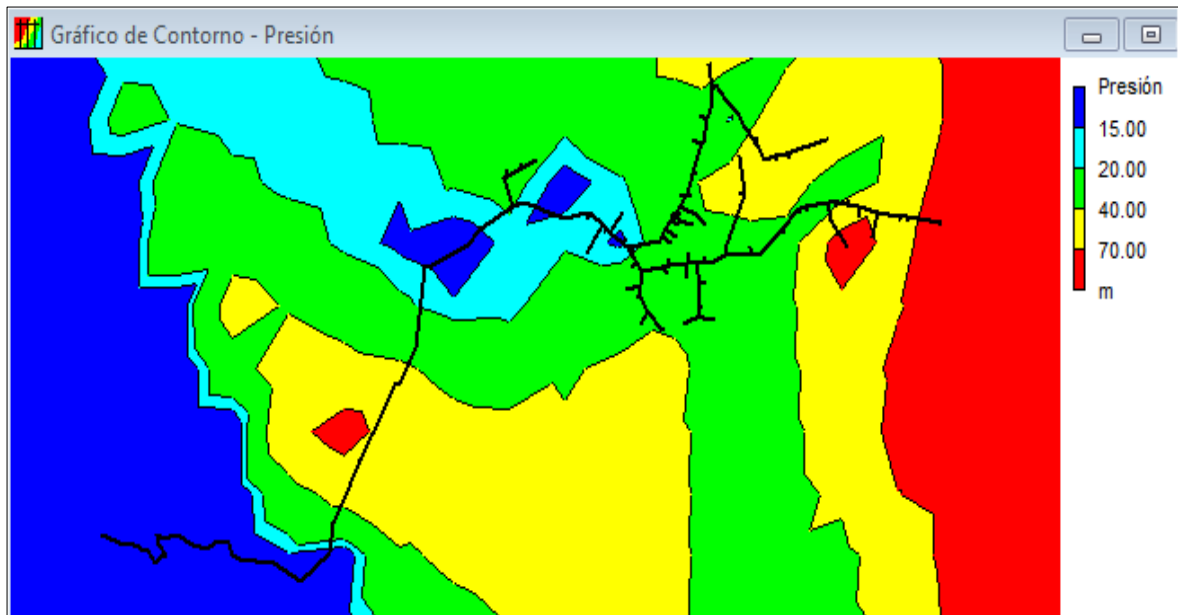
Figura 35. Perfil longitudinal de presión tramo principal turno 2.



Como resultado de la modelación de la red de abastecimiento en Epanet, en la Figura 35 se muestra la variación de presión entre los nodos 29 y 264 del turno 2 (ramal principal), dentro de los cuales están los hidrantes para riego. En esta

grafica se observa que los mayores valores se presentan entre los nodos 222 y 264. Sin embargo se observa una caída de presión en el nodo 258, el cual se presenta por la cámara de quiebre de presión, también se observa que en ningún punto se presentan presiones menores a 20 mca; Presión requerida para el perfecto funcionamiento de los aspersores de ¾" marca Senninger.

Figura 36. Presiones Turno 2 Patrón de consumo 1



En cuanto los sectores se observa que se tiene presiones bajas en algunos nodos, sin embargo estos no tienen consumo, por lo cual no se vería afectado el suministro.

8.2.4 Análisis de las velocidades.

El análisis de las velocidades para el periodo modelado permite establecer que en general estas son bajas. De acuerdo a la Figura 37, se tiene que el 80% se encuentran por debajo de 1 m/s para la hora de mayor consumo tanto para el turno 1 como el turno 2, por otro lado, no se presentan velocidades mayores a 2 m/s en la red de distribución.

Figura 37. Distribución de las velocidades a la hora de mayor consumo

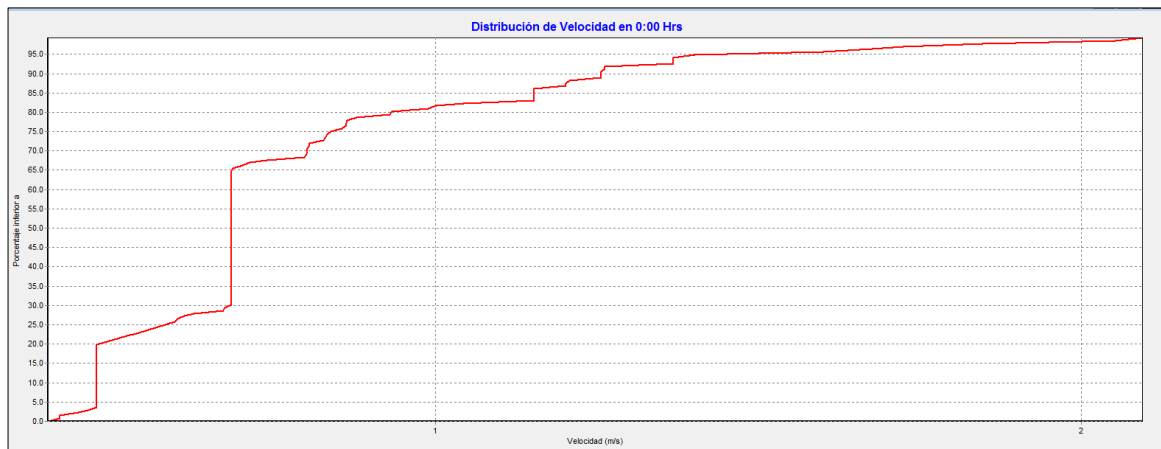
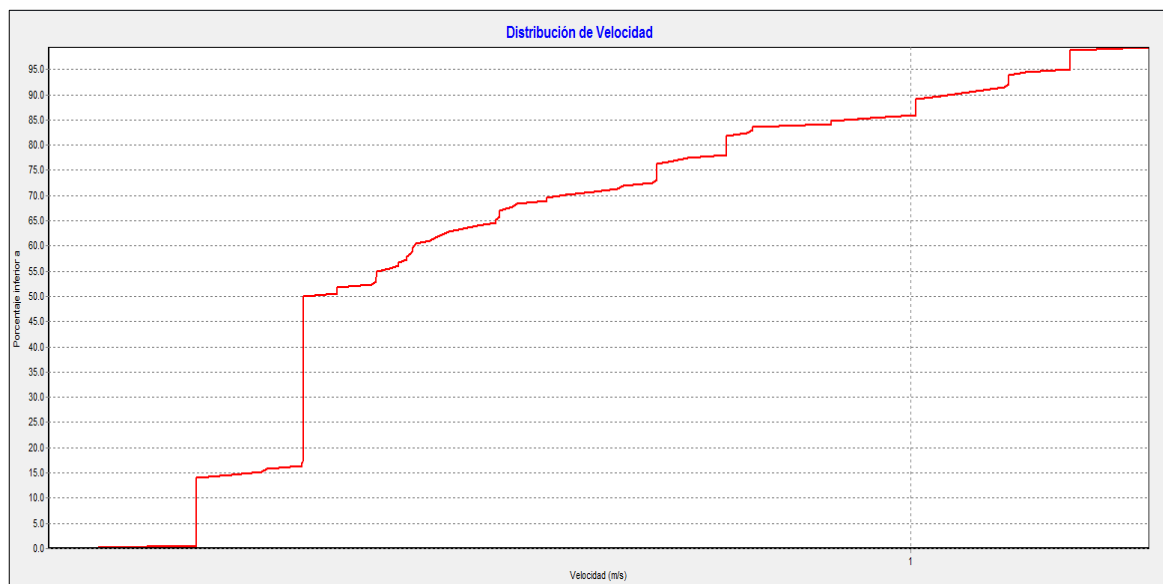


Figura 38. Continuación figura 38 Distribución de las velocidades a la hora de mayor consumo



8.2.5 Modelación de los escenarios.

Se plantean diferentes escenarios para evaluar el comportamiento de la red. Para esto, se consideran el funcionamiento de los dos turnos de manera simultánea, y el turno 1 y 2 con el planteamiento de un patrón de consumo variable.

Escenario 1: Funcionamiento de los dos turnos de manera simultánea

Se analiza el comportamiento de la red funcionando de manera simultánea, lo cual implica que 113 hidrantes tengan el máximo consumo, y se plantea un patrón de consumo para verificar en que porcentaje de consumo se comporta de la mejor manera para cumplir con el mínimo de presión para su correcto funcionamiento.

Figura 39. Diferentes patrones de consumo

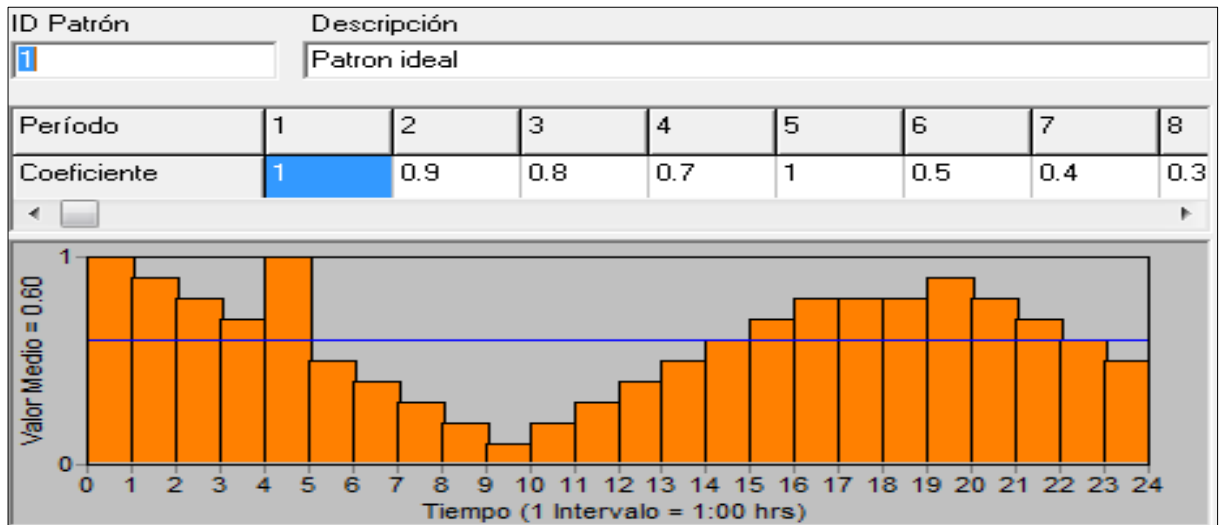


Figura 40. Presiones Hora 4:00 (patrón 1)

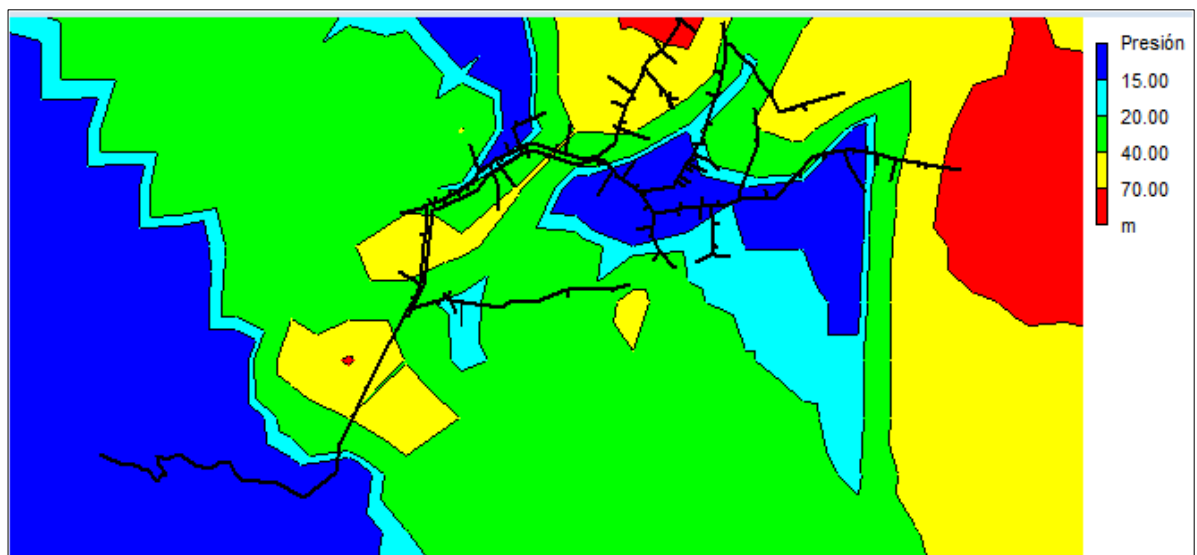


Figura 41 . Presiones Hora 1:00 (patrón 0.9)

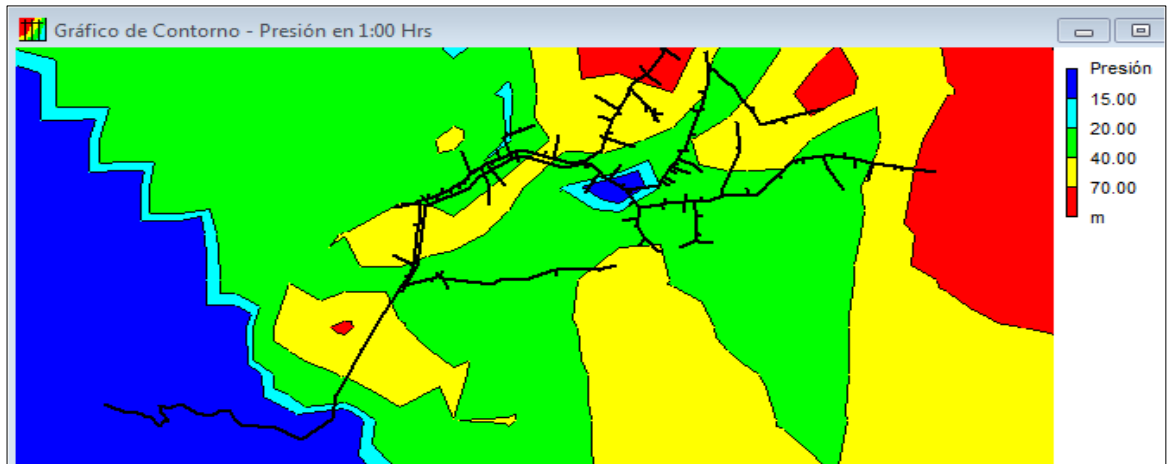
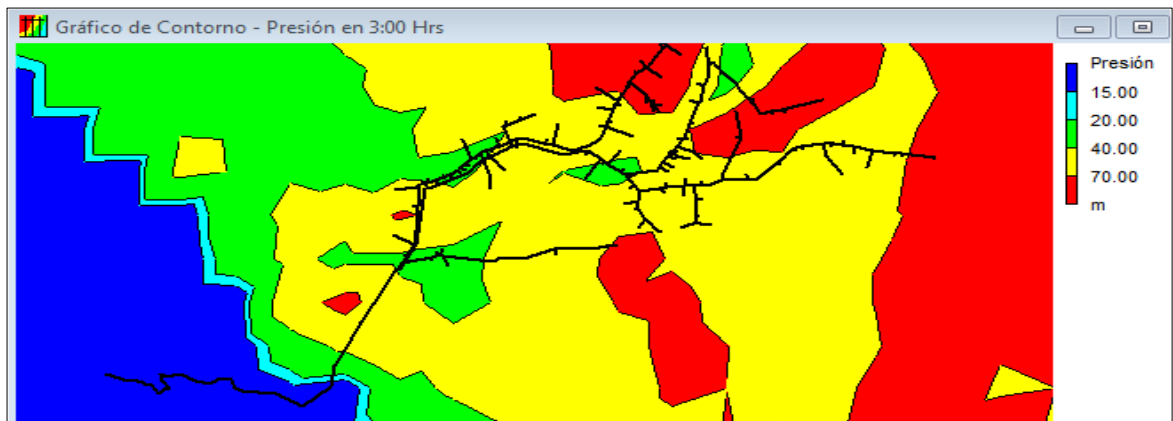


Figura 42. Presiones Hora 3:00 (patrón 0.8)



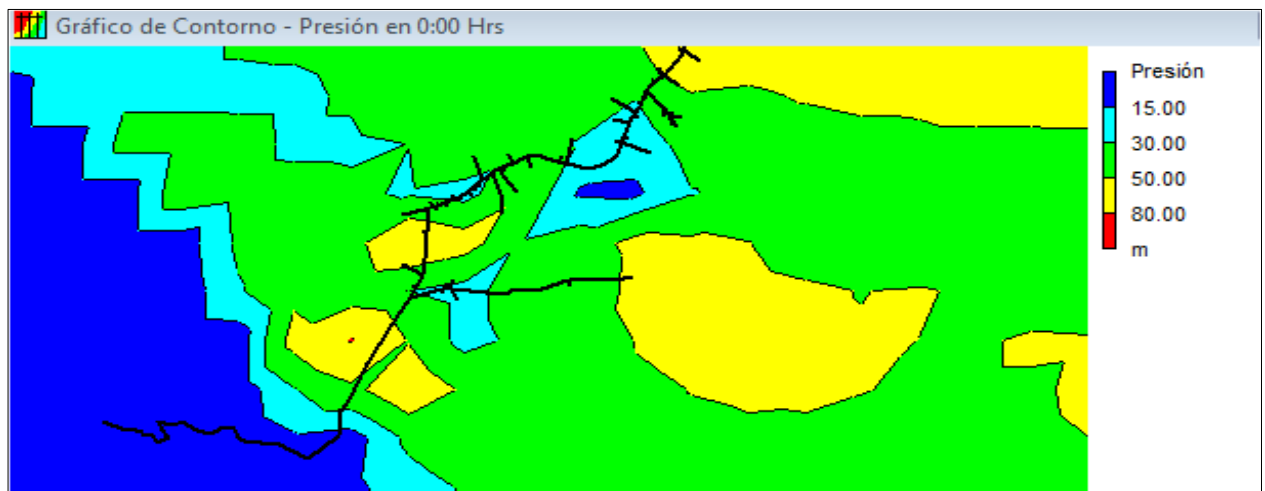
Se puede evidenciar que cuando el sistema está trabajando con el máximo consumo, con un patrón 1, no garantiza la presión mínima requerida, presentando presiones en la mayor parte de la red, por debajo de 15 mca. Con el patrón 0.9 vemos que una leve fracción del ramal 3 presentan presiones que no cumplen, sin embargo cuando bajamos al patrón 0.8, vemos que todas las presiones se encuentran por encima de 20 mca. Esto índice que el sistema funciona de la mejor manera cuando el consumo no supera el 80% del caudal de diseño.

Además se observa que en todos los 3 patrones presentados, las presiones en gran parte de la conducción principal se encuentran por debajo de 15 mca, lo cual se presenta por ser un terreno con poca pendiente, sin embargo todas son positivas, y en ningún punto hay acometidas de consumo, por lo cual se garantiza su correcto funcionamiento.

Escenario 2: Red operando en condiciones de emergencia

Se analiza el comportamiento de la red en situaciones de emergencia, como pueden ser situaciones en las que se produzca la rotura de una conducción de la red principal entre los nodos 109 y 110.

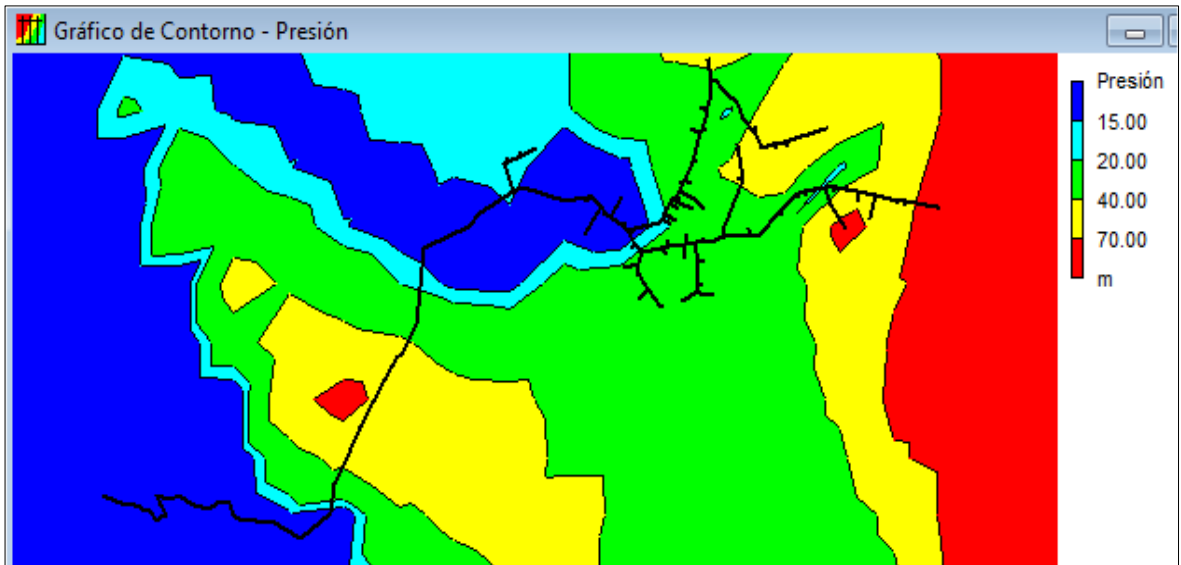
Figura 43. Rotura de tubería Escenario 2-Turno 1



En este caso, se asume un daño en la tubería de 3" tubería principal que alimenta el ramal 3. La evolución del comportamiento de presión en este punto se presenta en la Figura 43, donde se observa una presión por debajo de 15 mca. Esto indica que este sector que se muestra se vería afectado por bajas presiones que muy probablemente no puedan abastecerse de manera correcta.

Para que la afectación se presente, la rotura de la tubería debe representar una fuga de aproximadamente 8L/s, una rotura por debajo de este valor no afectaría el normal funcionamiento de la red.

Figura 44. Rotura de tubería Escenario 2-Turno 2



En este caso, se asume un daño en la tubería de 4" tubería principal que alimenta todos los ramales. La evolución del comportamiento de presión en este punto se presenta en la Figura 44 donde se observa una presión por debajo de 15 mca en la mayor parte de la red. Esto indica que este sector que se muestra se vería afectado por bajas presiones que muy probablemente no puedan abastecerse de manera correcta.

Para que la afectación se presente, la rotura de la tubería debe representar una fuga de aproximadamente 1 L/s, una rotura por debajo de este valor no afectaría el normal funcionamiento de la red, sin embargo una rotura que supere este caudal de pérdida, no permitiría suministrar flujo de caudal, pues el modelo indica presiones negativas, pues este punto es vulnerable, ya que presenta bajas presiones de funcionamiento.

10. CONCLUSIONES.

A partir de la modelación hidráulica de la red que se llevó a cabo, a continuación se presentan algunas conclusiones y recomendaciones generales:

- ♦ En el caso del sistema de riego Yamuésquer se contó con información veraz de catastro lo que se evidencia en el comportamiento del sistema al no encontrar mayores problemas en los niveles de presión requeridas
- ♦ El turno 2, es más vulnerable a cualquier situación de emergencia como daños o fugas en la red, pues debido a que las presiones entre los nodos 149 a 159 son bajas, se puede ver fácilmente afectado en el tiempo, pues las fugas normalmente se presentan a lo largo de la red, de manera no visible, y esto puede representar una caída de presión y afectación en el suministro y presiones adecuadas.
- ♦ La información de catastro actualizada de la red es el punto de partida de la modelación hidráulica del sistema; si ésta se encuentra desactualizada, el modelo no reflejará el comportamiento del sistema de manera adecuada. En este caso, se contaba con información confiable, por ser un sistema nuevo, además con la ayuda de personal que participó en la construcción del proyecto, se realizó una revisión detallada del sistema existente.
- ♦ Al realizar la calibración del modelo hidráulico se encontró que las presiones medidas en campo, correspondientes al trazado para el turno 2, no representan de manera lógica para un sistema funcionando de manera dinámica. La primera porque hay presiones medidas que superan la altura estática, lo cual no puede suceder, pues en la realidad hay pérdidas que ocasionan que la presión dinámica sea menor a la estática. La segunda razón para que las presiones medidas en campo sean mayores a las modeladas, se pudo haber presentado porque al momento de realizar la toma de presiones no había consumo en el resto de los nodos, razón que en la realidad no se presenta, ya que se debe realizar una medición acorde al comportamiento real del sistema.
- ♦ El punto de menor presión es donde inicia el ramal No. 2 y el ramal no. 5, entre las abscisas 4730 y 5230, aproximadamente 500 metros, sin embargo el sistema se ve favorecido, pues las acometidas de los predios se encuentran con más de 20 metros por debajo de esta conducción principal.

BIBLIOGRAFIA

A continuación se presenta la bibliografía agrupada según el tipo de información.

AGRICULTURA

ALLEN, Richard. Et al. Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje no 56. Roma ,1992

Contexto ganadero. Bogotá D.C 25, Febrero, 2013. En línea: <http://www.contextoganadero.com/reportaje/sistemas-de-riego-beneficio-clave-para-el-agro-colombiano>.

C.C. Shock y T. Welch. Técnicas para la agricultura sostenible. Oregon state university. 2023. EM 8782.S en línea: <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/37462/em8782-S.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE DESARROLLO RURAL. La adecuación de tierras y su contribución a la estrategia de desarrollo rural territorial [diapositivas]. 2012, 25 diapositivas, color.

HOLZAPFEL, Eduardo et al. Riego por surcos. En línea <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/seriesinia/NR08947.pdf>

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Uso Eficiente y Ahorro del Agua.

En línea

<<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1449:pl-antilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-34>>] [Consulta: 20/12/15]

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico (RAS – 2000). Santafé de Bogotá, 2000

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. El agua y la agricultura, 2002

MAIGUAL, Ilda. Estudio de suelos proyecto pequeña escala Yamuésquer – proyecto ASOYAMUÉSQUER. San Juan de Pasto, 2013

MANUALES Y NORMAS

ASOYAMUESQUER. Manual de operaciones y mantenimiento distrito de riego Yamuésquer

ASOYAMUESQUER. Informe final de interventoría – proyecto ASOYAMUESQUER”

ASOYAMUESQUER. Climatología Distrito de riego Yamuésquer – proyecto ASOYAMUESQUER”

EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN. Normas de diseño de sistemas de acueducto, Medellín, 2009, Disponible en:
https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/NormasDisenoSistemasAcueducto.pdf

GARCÍA ALCARAZ, M. d. Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas. Trabajo de grado (Ingeniería Civil). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2006.

HIDRÁULICA

AGUDELO, Leydi y PINO, Viviana. Diseño de la red de distribución de un mini-distrito de riego para los corregimientos la palma y tres puertas, municipio de Restrepo (valle del cauca). Tesis para optar al título de ingeniero agrícola. Colombia. Universidad del Valle. 2012. 94p.

CASTRO, Camilo y ZANCHES, Maria. Estudio de factibilidad Del distrito de riego para el municipio de Nemocón. Tesis de grado para optar al Título de ingeniero civil, Bogotá D.C: Universidad La Salle, Octubre de 2006.184 p

INSTITUTO COLOMBIANO DE DESARROLLO RURAL. Diseño y construcción de distritos de riego y drenaje a nivel nacional.2012

INSTTUTO COLOMBIANO DE DESARROLLO RURAL, Distritos de riego, principal factor del desarrollo agrícola en la provincia de oriente del departamento de Cundinamarca En línea:
<http://www.incoder.gov.co/documentos/Boletines%202014/Boletin%2038.%20Fomeque.pdf> [consulta: 12/04/16]

JAIME ROA, Pedro. Diseño: acueducto vereda el retiro (municipio de Santa María, Boyacá). Bogotá, 2008, 229 h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Civil. Disponible en:
<<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15298/T40.08%20J199d.pdf?sequence=2>>

LAPO, Carmen. Diseño óptimo de un sistema de riego a presión y su eficiencia hidroenergetica aplicación en el caso de Loja Ecuador. Tesis para optar al título de magister en ingeniera hidráulica. España. Universidad politécnica de Valencia. 2012. 244p

LÓPEZ JIMÉNEZ., et al. El modelo de la red de distribución como herramienta de gestión y toma de decisiones: la importancia de la calibración del mismo. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y medio ambiente. Valencia. 2005.

ORJUELA, Heber. Distritos de riego en Colombia: una necesidad latente. En línea <http://www.hidraco.co/blog-hidraco/distritos-de-riego-en-colombia-una-necesidad-latente> [Consulta: 1/04/16]

PEREZ, Rafael. Análisis del comportamiento hidráulico de la red de abastecimiento de la ciudad de Córdoba mediante EPANET.

PONCE GARCIA, Cornelio. Diseño hidráulico de redes a presión en los sistemas de riego, empleando un modelo matemático. México D.F., 2009, 96 h. Tesis de grado (Maestro en ciencias en hidráulica). Instituto Politécnico Nacional. Secretaria de investigación y posgrado.

PONCE, Porfilio. DISEÑO HIDRÁULICO DE REDES A PRESIÓN EN LOS SISTEMAS DE RIEGO, EMPLEANDO UN MODELO MATEMÁTICO. Tesis Maestría de ciencias en hidráulica. México DF. Instituto Politécnico Nacional ,2009.

PORTAL DE ALCALDES Y GOBERNADORES DE COLOMBIA. Análisis Diseño y Construcción de Distritos de Riego y Drenaje a Nivel Nacional (Fondo Nacional de Adecuación de Tierras) [en línea]
<<http://www.portalterritorial.gov.co/moi.shtml?apc=zax;x;x;x-73395&x=84406>
[Consulta: 2/02/16]

RAMIREZ, VICTOR. Propuesta de un criterio de análisis y optimización de una red de riego por aspersión, previo al empleo del programa EPANET. Trabajo de Grado Maestro en ingeniera. México DF: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Programa de maestría y doctorado en ingeniera. 195 p

URRUTIA, N. Sustainable management after irrigation system transfer. Experiences in Colombia – The RUT Irrigation District. Taylor & Francis Group. Delft, The Netherlands. 2006

TARJUELO, José y BENITO, Martín. El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi-Prensa.2005.581 pp. En línea: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/seriesinia/NR08936.pdf>. [consulta: 12/04/16]

VARGAS, Edmundo y SANDOVAL, Jorge. Riego por aspersión. Chile, Marzo 1989 [consulta: 12/04/16]

ZAPATA, Luis. Diseño óptimo de redes cerradas de tuberías presurizadas para abastecimiento de agua potable en flujo permanente y aplicación al centro poblado campanita ubicado en San José Pacasmayo – la libertad. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad privada Anterior Orrego, Facultad de Ingeniería Disponible en:
<http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/618/1/ZAPATA_LUIS_REDES_CERRADAS_TUBERIAS.pdf>

METODOLOGÍA

HERNANDEZ, Sampieri et al. Metodología de la investigación. México D.F. 2006: McGraw-Hill Interamericana.