



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Reducción del consumo de energía en redes de irrigación, usando ofimática.

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Córdova Álvarez, Jhonel Leodán.

DIRECTORA: Lapo Pauta, Carmen Mireya, MSc.

LOJA - ECUADOR

2015



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2015

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Master

Carmen Mireya Lapo Pauta

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **“Reducción del consumo de energía en redes de irrigación, usando ofimática”**, realizado por **Jhonel Leodán Córdova Álvarez**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, diciembre de 2015.

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Jhonel Leodán Córdova Álvarez declaro ser autor del presente trabajo de titulación: **“Reducción del consumo de energía en redes de irrigación, usando ofimática”**, de la Titulación de **Ingeniería Civil**, siendo MSc. **Carmen Mireya Lapo Pauta** directora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f).....

Autor: Jhonel Leodán Córdova Álvarez

Cédula: 1104124316

DEDICATORIA

A Dios por acompañarme en cada paso que doy y por poner personas en mi camino que han permitido convertirme en la persona que soy ahora, sobretodo mis padres, Nelli y Franco, que con esfuerzo me han enseñado que hay que luchar por lo que se quiere y siempre apuntar a lo más alto. A mis hermanos Magaly y Alexis, por brindarme apoyo incondicional y acompañarme todo el tiempo que Dios me ha permitido estar con ellos. A mis abuelitos Ernesto y Rubelia, Dolores (+) y Manuel, que han confiado en mí y en mi capacidad de brindar apoyo a la sociedad. A toda mi familia por ser esa voz de aliento que en momentos difícil tanta falta hace.

AGRADECIMIENTO

Primero a Dios que me ha sostenido y nunca me ha dejado caer, a mis padres, Nelli Álvarez y Franco Córdova, que nunca me han dejado solo, me han brindado su amor y me han sabido formar por un camino lleno de valores y principios.

A mi Directora de Tesis, Ms.C. Carmen Mireya Lapo Pauta, por toda la paciencia, esfuerzo y tiempo que ha dedicado a la realización de esta investigación, por la confianza y por su excelente calidez humana.

A los docentes de la Universidad Técnica Particular de Loja que han contribuido a mi formación profesional.

A mi novia, Mercy, por brindarme su amor y ser mi apoyo en todos los momentos que he necesitado.

A mis compañeros de la gloriosa Titulación de Ingeniería Civil por acompañarme en esta gran aventura universitaria.

.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----|
| CARÁTULA..... | i |
| APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN..... | ii |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS..... | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS..... | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xii |
| RESUMEN..... | 1 |
| ABSTRACT..... | 2 |
| INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| CAPÍTULO I. GENERALIDADES..... | 5 |
| 1.1. Objetivos..... | 6 |
| 1.2. Justificación | 6 |
| 1.3. Estado del arte..... | 7 |
| 1.4. Marco teórico..... | 10 |
| 1.4.1. Sistemas de riego | 10 |
| 1.4.2. Riego a la demanda | 16 |
| 1.4.3. Riego por turnos..... | 18 |
| 1.4.4. Riego por aspersión | 18 |
| 1.4.5. Riego por goteo..... | 19 |
| 1.4.6. Topología..... | 19 |
| 1.4.7. Epanet..... | 20 |
| 1.4.8. Toolkit de Epanet | 20 |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE DISEÑO | 22 |

| | | |
|--|---|----|
| 2.1. | Redes a la demanda por el modelo de Clement. | 23 |
| 2.2. | Redes en Epanet..... | 25 |
| 2.3. | Definición de los criterios de sectorización..... | 27 |
| 2.4. | Ofimática de sectorización..... | 28 |
| 2.5. | Redes por turnos | 34 |
| CAPÍTULO III. CASOS DE ESTUDIO | | 39 |
| 3.1. | San Rafael | 40 |
| 3.1.1. | Ubicación | 40 |
| 3.1.2. | Área del proyecto | 40 |
| 3.1.3. | Usuarios..... | 41 |
| 3.1.4. | Clima..... | 41 |
| 3.1.5. | Datos topográficos | 41 |
| 3.1.6. | Topología de la red | 41 |
| 3.1.7. | Resultados de la red | 43 |
| 3.2. | Red Tuncarta | 45 |
| 3.2.1. | Ubicación | 45 |
| 3.2.2. | Área del proyecto | 46 |
| 3.2.3. | Usuarios..... | 46 |
| 3.2.4. | Clima..... | 46 |
| 3.2.5. | Datos topográficos | 46 |
| 3.2.6. | Topología de la red | 47 |
| 3.2.7. | Resultados de la red | 48 |
| CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | | 51 |
| 4.1. | Análisis del caudal ficticio continuo | 52 |
| 4.2. | Análisis de redes a la demanda | 52 |
| 4.3. | Análisis de sectorización..... | 52 |

| | |
|--|----|
| 4.4. Análisis de redes por turnos..... | 61 |
| 4.5. Análisis económico de las redes | 62 |
| 4.5.1. Aspersores..... | 62 |
| 4.5.2. Tuberías..... | 64 |
| CONCLUSIONES | 70 |
| RECOMENDACIONES | 72 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 73 |
| ANEXOS..... | 76 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Accesorios para riego. | 10 |
| Figura 2. Válvulas para riego. | 10 |
| Figura 3. Tuberías para sistema de riego..... | 11 |
| Figura 4. Emisores para riego..... | 11 |
| Figura 5. Parámetros de cálculo hidráulico. | 12 |
| Figura 6. Riego por aspersión..... | 19 |
| Figura 7. Riego por goteo. | 19 |
| Figura 8. Metodología para diseño a la demanda. | 24 |
| Figura 9. Red importada a Epanet. | 25 |
| Figura 10. Ingreso de datos a Epanet. | 26 |
| Figura 11. Simulación de la red en Epanet. | 26 |
| Figura 12. Revisión de la red en Epanet. | 27 |
| Figura 13. Archivo .RPT exportado de Epanet. | 28 |
| Figura 14. Flujograma de programación. | 29 |
| Figura 15. Entorno de código en C. | 30 |
| Figura 16. Ventana de diálogo para sectores..... | 31 |
| Figura 17. Cuadro de impresión de resultados..... | 31 |
| Figura 18. Interfaz del programa. | 33 |
| Figura 19. Digitación del código en Java..... | 33 |
| Figura 20. Ofimática de sectorización. | 34 |
| Figura 21. Ingreso de datos a la ofimática de sectorización. | 35 |
| Figura 22. Ventana de resultados | 35 |
| Figura 23. Controles simple para turnos. | 36 |
| Figura 24. Simulación red San Rafael por turnos. | 37 |
| Figura 25. Simulación de red Tuncarta por turnos..... | 38 |

| | |
|--|----|
| Figura 26. Ubicación San Rafael..... | 40 |
| Figura 27. Planimetría de Red San Rafael..... | 42 |
| Figura 28. Ubicación Tuncarta | 46 |
| Figura 29. Planimetría de Red Tuncarta | 47 |
| Figura 30. Turnos San Rafael. | 61 |
| Figura 31. Turnos Tuncarta..... | 62 |
| Figura 32. Precios turnos vs demanda San Rafael. | 63 |
| Figura 33. Precios turnos vs demanda Tuncarta..... | 64 |
| Figura 34. Precios (\$) San Rafael demanda vs turnos. | 66 |
| Figura 35. Precios (\$) Tuncarta demanda vs turnos..... | 67 |
| Figura 36. Cuatro mayores diámetros, San Rafael..... | 68 |
| Figura 37. Distribución de diámetros por diseño, San Rafael..... | 68 |
| Figura 38. Seis mayores diámetros, Tuncarta..... | 69 |
| Figura 39. Distribución de diámetros por diseño, San Rafael..... | 69 |
| Figura 40. Clima, San Rafael. | 83 |
| Figura 41. Precipitación, San Rafael. | 83 |
| Figura 42. Cultivos, San Rafael..... | 84 |
| Figura 43. Suelo, San Rafael. | 84 |
| Figura 44. Patrón de cultivo, San Rafael..... | 85 |
| Figura 45. Resultados QFC, San Rafael. | 85 |
| Figura 46. Clima, Tuncarta..... | 86 |
| Figura 47. Precipitación Tuncarta. | 86 |
| Figura 48. Cultivo, Tuncarta..... | 87 |
| Figura 49. Suelo, Tuncarta..... | 87 |
| Figura 50. Patrón de cultivo, Tuncarta. | 88 |
| Figura 51. Resultados QFC, Tuncarta..... | 88 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Figura 52. Aspersor Senninger | 120 |
| Figura 53. Aspersor Naan 501u. | 121 |
| Figura 54. Aspersor Naan 5022. | 122 |
| Figura 55. Aspersor Naan 5035. | 123 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Garantía de suministro | 17 |
| Tabla 2. Distribución normal | 17 |
| Tabla 3. Rangos de sectores | 27 |
| Tabla 4. Sectores San Rafael | 53 |
| Tabla 5. Sectores Tuncarta..... | 53 |
| Tabla 6. Sector 1 San Rafael..... | 53 |
| Tabla 7. Sector 2 San Rafael parte 1..... | 54 |
| Tabla 8. Sector 2 San Rafael parte 2..... | 55 |
| Tabla 9. Sector 3 San Rafael..... | 56 |
| Tabla 10. Sector 1 Tuncarta..... | 56 |
| Tabla 11. Sector 2 Tuncarta parte 1..... | 57 |
| Tabla 12. Sector 2 Tuncarta parte 2..... | 58 |
| Tabla 13. Sector 3 Tuncarta parte 1..... | 59 |
| Tabla 14. Sector 3 Tuncarta parte 2..... | 60 |
| Tabla 15. Precios aspersores, San Rafael | 63 |
| Tabla 16. Precios aspersores, Tuncarta..... | 63 |
| Tabla 17. Características y precios comerciales de tuberías..... | 65 |
| Tabla 18. Comparación de costos, San Rafael..... | 65 |
| Tabla 19. Comparación de costos, Tuncarta..... | 66 |
| Tabla 20. Estación Cotopaxi – Clirsen | 77 |
| Tabla 21. Estación Saraguro..... | 77 |
| Tabla 22. Datos de Clima, estación Cotopaxi – Clirsen..... | 78 |
| Tabla 23. Datos de Clima, estación Saraguro..... | 78 |
| Tabla 24. Viento, estación Cotopaxi – Clirsen..... | 79 |
| Tabla 25. Viento, estación Saraguro | 79 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 26. Precipitación, San Rafael. | 80 |
| Tabla 27. Precipitación, Tuncarta..... | 80 |
| Tabla 28. Valores de Kc, San Rafael. | 80 |
| Tabla 29. Valores de Kc, Tuncarta..... | 80 |
| Tabla 30. Duración en días de etapas del cultivo, San Rafael..... | 80 |
| Tabla 31. Duración en días de etapas del cultivo, Tuncarta. | 81 |
| Tabla 32. Profundidad radicular y agotamiento crítico para cultivos, San Rafael. | 81 |
| Tabla 33. Profundidad radicular y agotamiento crítico para cultivos, Tuncarta. | 81 |
| Tabla 34. Valores de Ky, San Rafael. | 81 |
| Tabla 35. Valores de Ky, Tuncarta..... | 82 |
| Tabla 36. Humedad según tipo de suelo..... | 82 |
| Tabla 37. Características de suelo franco arenoso. | 82 |
| Tabla 38. Diseño a la demanda, San Rafael izquierdo (parte 1). | 93 |
| Tabla 39. Diseño a la demanda, San Rafael izquierdo (parte 2). | 94 |
| Tabla 40. Diseño a la demanda, San Rafael centro. | 95 |
| Tabla 41. Diseño a la demanda, San Rafael derecho (parte 1). | 96 |
| Tabla 42. Diseño a la demanda, San Rafael derecho (parte 2). | 97 |
| Tabla 43. Diseño a la demanda, Tuncarta izquierdo (parte 1). | 98 |
| Tabla 44. Diseño a la demanda, Tuncarta izquierdo (parte 2). | 99 |
| Tabla 45. Diseño a la demanda, Tuncarta derecho (parte 1). | 100 |
| Tabla 46. Diseño a la demanda, Tuncarta derecho (parte 2). | 101 |
| Tabla 47. Diseño por turnos, San Rafael izquierdo (parte 1). | 102 |
| Tabla 48. Diseño por turnos, San Rafael izquierdo (parte 2). | 103 |
| Tabla 49. Diseño por turnos, San Rafael centro..... | 104 |
| Tabla 50. Diseño por turnos, San Rafael derecho (parte 1). | 105 |
| Tabla 51. Diseño por turnos, San Rafael derecho (parte 2). | 106 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 52. Diseño por turnos, Tuncarta izquierdo (parte 1). | 107 |
| Tabla 53. Diseño por turnos, Tuncarta izquierdo (parte 2). | 108 |
| Tabla 54. Diseño por turnos, Tuncarta derecho (parte 1). | 109 |
| Tabla 55. Diseño por turnos, Tuncarta derecho (parte 2). | 110 |
| Tabla 56. Diseño con sectorización, San Rafael izquierdo (parte 1). | 111 |
| Tabla 57. Diseño con sectorización, San Rafael izquierdo (parte 2). | 112 |
| Tabla 58. Diseño con sectorización, San Rafael centro. | 113 |
| Tabla 59. Diseño con sectorización, San Rafael derecho (parte 1). | 114 |
| Tabla 60. Diseño con sectorización, San Rafael derecho (parte 2). | 115 |
| Tabla 61. Diseño con sectorización, Tuncarta izquierdo (parte 1). | 116 |
| Tabla 62. Diseño con sectorización, Tuncarta izquierdo (parte 2). | 117 |
| Tabla 63. Diseño con sectorización, Tuncarta derecho (parte 1). | 118 |
| Tabla 64. Diseño con sectorización, Tuncarta derecho (parte 2). | 119 |
| Tabla 65. Características Senninger auto-regulador de presión. | 120 |
| Tabla 66. Características Naan 501-U | 121 |
| Tabla 67. Características Naan 5022. | 122 |
| Tabla 68. Características Naan 5035. | 123 |

RESUMEN

El trabajo implementa un innovador y práctico diseño para redes de riego presurizadas, donde se utiliza ofimática para la sectorización, con el objeto de establecer las ventajas que se obtienen en la economía del diseño en las redes.

Los casos de estudio son dos redes presurizadas de riego, en ellas se realiza un diseño a la demanda y dos diseños a turnos uno con sectorización y el otro sin tomarla en cuenta. Se modela en software, donde se coloca todas las propiedades hidráulicas y topológicas de las redes; del análisis se toma los datos internamente calculados por el programa, para hacer una programación (Toolkit), en el cual se clasifica los nudos de consumo por niveles de energía de presión, y se reparte en tres sectores energéticos para su distribución en dos turnos. Se ejecuta un análisis de las redes por turnos, se eligen diferentes aspersores para los sectores y también para la red únicamente diseñada a la demanda, luego se establece un análisis de economía con los precios para las mencionadas redes y se determina la eficiencia económica.

Palabras claves: Sectorización, Toolkit, riego, presión.

ABSTRACT

This project aims to implement an innovative and practical design for pressurized irrigation networks, where programming of hydraulics for the sectoring is also used to establish the advantages gained in the design economy in the networks.

The case studies are two pressurized irrigation networks (Tuncarta and San Rafael), they design them a demand is made, and two designs for shifts, one with zoning and another without taking into account. It is modeled on the Epanet software, where all hydraulic properties and topological characteristics of networks is placed; once executed analysis data internally calculated by the program takes to make a schedule (Toolkit), in which the nodes of consumption is classified by levels of pressure energy, and is divided into three energy sectors for distribution two shifts. An analysis of shift networks running, different sprinklers are chosen for the sectors and for the network designed to demand, then an analysis of economy with prices for establishing these networks and economic efficiency is determined.

Keywords: Sectorization, Toolkit, irrigation pressure.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación abarca un análisis de redes de irrigación presurizadas que se diseñan con la modalidad a la demanda y por turnos, considerando una sectorización clasificada por diferentes niveles de presión que se originan gracias a la topografía que presenta varios desniveles importantes en sus diferentes nudos de consumo.

Varios han sido los estudios realizados hasta la actualidad en lo que a sectorización se refiere, para resolver los problemas que existen en optimización de recursos como también en economía para redes de distribución. La sectorización es una herramienta poderosa que permite la clasificación de redes con características propias, que optimizan las redes analizadas.

Para esto se conoce dos casos de estudio que son las redes de riego: Tuncarta y San Rafael, en las redes se implementa similar metodología, donde se define su topología, se efectúa el cálculo del caudal ficticio continuo, usando el software Cropwat 8.0 proporcionado por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), para la cual se enlista datos meteorológicos, hidrométricos, características de cultivo y suelo.

Para la asignación de los turnos se realiza una distribución de nudos en las redes, con los valores obtenidos de Epanet luego de ingresar la topología y propiedades de tuberías, este análisis se realiza mediante una programación en C y posteriormente una interfaz en Java, donde se examina nudo por nudo (nudos de consumo) la presión hidráulica que tiene el punto de consumo para clasificarlas en diferentes sectores; que se disponen por rangos pre-establecidos, se verifican los nudos que van a los diferentes sectores y se definen los turnos. Se realiza el diseño por turnos, optimizando el recurso agua, también se ha considerado la selección de diferentes tipos de aspersores que trabajan dependiendo de los rangos de presiones, para un diseño económico y eficiente.

Esta investigación se concreta a resolver problemas que existen en los proyectos de riego actuales, que están sobredimensionados cuando se puede aportar con un diseño económico aprovechándonos de las características de los sistemas, como ocurre con las redes de estudio que aprovechando la cota geométrica que disponen los nudos de demanda, es posible clasificarlos en zonas de presión definidas a priori, con lo cual se logra aprovechar todo el recurso energético natural.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1. Objetivos

General:

- Reducir el consumo de energía en redes de irrigación, por medio de sectorización, usando ofimática.

Específicos:

- Diseñar la red con la modalidad a la demanda y por turnos.
- Definir criterios para sectorización.
- Usar herramienta ofimática para sectorización.
- Modelar la red usando software libre.

1.2. Justificación

Actualmente son muchos los sistemas de riego presurizados dispuestos bajo demanda, esto es que la disposición del caudal necesario esté útil cuando se lo solicite en todos los nudos de consumo de la red de distribución, lo que genera diseños de grandes diámetros y con aspersores con un pobre criterio de elección, pero si se determina las características favorables de la red, se da ventaja al diseño y beneficiar, al reducir diámetros y utilizar instrumentos más acorde a las condiciones de los puntos de gasto. Los agricultores obtienen un mayor grado de flexibilidad y confiabilidad de su sistema que permite su uso más eficiente, como goteo o por aspersión y por lo tanto el aumento de la uniformidad y la frecuencia de riego (Pérez et al 2009). Pero a cambio las redes a presión requieren gran cantidades de energía para su funcionamiento, por lo tanto es necesario buscar alternativas que permitan reducir el brío para su actividad, mejorando el rendimiento de los diferentes elementos de la red de riego, tales como el aprovechamiento de la variación de presiones que se tiene, al encontrarse las redes en una zona de múltiples desniveles (topografía irregular). En este último punto se fundamenta el trabajo propuesto, donde se realiza un análisis de todos los recursos que se tiene en las redes seleccionadas, para de esta manera propiciar una buena gestión al menor costo. Se realiza un diseño a la demanda, otro a la modalidad a turnos con un pobre criterio de definición de nudos a los turnos, y otro diseño a turnos sectorizando los nudos de consumo por niveles de presión, optimizando diámetros y accesorios en la red.

1.3. Estado del arte

A través de la historia han existido muchos estudios sobre el recurso agua y sus diferentes sistemas para ser distribuido, más el sinnúmero de investigaciones que se realiza actualmente para el control de redes y su mejor funcionamiento. La importancia de la sectorización empieza con las conferencias desarrolladas por las Naciones Unidas en los años de 1970. Sin embargo, en 1980 mediante el Reporte 26 “Políticas y Prácticas del Control de Fugas” de la Asociación de Autoridades del Agua para el Reino Unido, la sectorización se da a conocer como herramienta para la detección de fugas (Morrison et al, 2004)).

Conocer la distribución y el resultado final del líquido vital en un sistema de abastecimiento constituye un problema complicado, aún más cuando el tamaño de este es mayor; el resultado final es un gran desconocimiento de las propiedades hidráulicas que realmente pasan por las tuberías y también la cantidad del agua que se suministra. El análisis de los sectores demanda un conocimiento íntegro de las redes y el respaldo de varios ítems de información como: conectividad, diámetros, cotas de cabecera y nudos, resultados de simulación del funcionamiento de la red, etc. (Vegas O, 2012).

La importancia de la sectorización radica en contar con una red mejor controlada y que su funcionamiento sea el deseado, más aún si se refiere a redes de riego donde el recurso líquido es limitado. Para lograr y controlar los inconvenientes que se generan, hay que tener un criterio que se ajuste a la red en cuestión y formar los sectores tomando en cuenta varios aspectos, aquí se presenta varios criterios que han sido aplicados a redes de diferentes lugares:

En la red de agua de Atizapan (México), se encuentra una razón de sectorización por el número de tomas (aproximadamente 2000 tomas por sector), que se definen al localizar las válvulas oportunamente y en el lugar indicado para que seccione al cerrar de forma permanente las válvulas que solo se podrían abrir en casos de emergencia. (Vegas O, 2012).

La sectorización de la red del sistema de agua potable de la ciudad de Lima y Callao (Perú), tiene como fundamento dividir la red en áreas menores a 3 km², con un punto de entrada y otro para casos de emergencia, con presiones entre 15 y 50 mca., que se controlan con válvulas reductoras de presión y se establecen las avenidas como límite para cada parte, para que los sectores no se extiendan más allá de las demarcaciones establecidas y realizar su respectivo control en la red (Vegas, 2012).

Cuando el recurso es limitado existen muchos problemas de repartición de agua, y se generan conflictos sociales, para solucionar el inconveniente de la red de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Huacho (Lima-Perú), se emplea el criterio de división por superficie, a cuyo máximo valor fue de 300 Ha (dar servicio entre 400-4000 usuarios). Aquí se divide varios sectores para abastecer a la población mediante el reparto por turnos (Vegas, 2012).

Otro criterio de sectorización utilizado es el de longitudes de tuberías, que toma en cuenta su extensión en metros para hacer grupos o sectores, donde ya se conoce sus pérdidas por fricción, sin embargo en redes de riego es complejo aplicarla, porque las longitudes para llegar a los nudos de consumo en su mayoría varían, cosa totalmente diferente en redes de agua potable, donde las longitudes son constantes para llegar a las acometidas; no obstante, todos estos criterios no pueden ser ejecutados si la parte técnica, de viabilidad y económica no cumplen con el control y la disponibilidad necesaria para ser ejecutados.

Los pioneros en realizar investigaciones en la aplicación de la teoría de grafos en redes de abastecimiento de agua son Jacobs y Goulter (1989), ellos hablan sobre la valoración de la vulnerabilidad de una red mediante la teoría de grafos. Al demostrar que las redes, que no son frágiles a fallar ocurren si tienen grafos regulares con igual número de arcos incidentes en cada nodo, mientras que, la proporción inversa no necesariamente es acertada, debido a la presencia de líneas y nudos de articulación. En otra investigación se desarrolla una metodología basada en teoría de grafos para obtener el diseño de menor costo en redes de abastecimiento no vulnerables y fiables (Kessler et al, 2007),

Malin Falkenmark (2001) habla sobre hidrosolidaridad, para ello crea sectores teniendo en cuenta la disponibilidad de agua de cada sector, e implementa un análisis de cultivo para cada uno de ellos, determinando la necesidad de agua de cada lugar y dando el recurso restante a otros sectores.

Martínez S, et al (2010) propone un diseño de control exhaustivo para una zona de México (San Luis Potosí), que ha crecido considerablemente, pero esta zona es árida, por lo que el recurso es limitado, para ello se realiza un control por sectores pequeños que se han clasificado por niveles de presión, al establecer puntos de control con unos pilotos sensibles a la caída de presión en alguno de estos nudos.

Yazdani y Jeffrey (2011), utilizaran técnicas determinísticas de redes complejas y teoría de grafos para cuantificar la conectividad y estimar la redundancia. Gutiérrez et al. (2011), emplean técnicas de teoría de grafos basadas en un conjunto de medidas (de conexión básica, espectrales y estadísticas), para clasificar diferentes tipos de redes, analizar sus estructuras y cuantificar su vulnerabilidad, robustez y tolerancia a fallos y ataques.

Otro uso de la sectorización se utiliza por Di Nardo A, et al (2011) para hacer un control en la contaminación del agua, al repartir zonas de las redes y tomar muestras de los diferentes sectores, entonces establecer así que lugar es el que se encuentra más contaminado y cuáles son las causas por las que existe el daño de la calidad del agua.

Vegas O, (2012) propone una solución para mejorar la gestión y la eficiencia hídrica que es la sectorización; que consiste básicamente en dividir la red en sectores hidrométricos o también llamados DMAs (District Metered Area), cuyas entradas y salidas están controladas por diferentes sistemas de monitoreo de parámetros propios de la red.

Hugo Bartolín (2013), desarrolla una serie de algoritmos, que aplica la teoría de grafos para identificar de manera automática los sectores hidrométricos de una red en servicio y para el diseño de nuevos sectores. En lo que respecta a la identificación de sectores es necesario tener la topología del modelo de red y los elementos como válvulas de corte y medidores de caudal, que definen y delimitan cada uno de los sectores.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Sistemas de riego

Son un conjunto de estructuras que generan una aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil de suelo para reponer en éste el agua consumida por los cultivos. Los sistemas de riego constan de muchos componentes para su correcto funcionamiento, pero no todos los sistemas deben tener los mismos componentes, porque depende de las características del área de riego y de los parámetros que lo componen (Gurovich, 1985).



Figura 1. Accesorios para riego (a-f. goteros, b. aspersor, c. válvula de paso, d-e. tipos de uniones).
Fuente: VYR SA, 2011.

Los componentes de una instalación se agrupan en:

Cabezal



Figura 2. Válvulas para riego (a. mariposa, b. compuerta, c-e. aire, d. paso).
Fuente: Aberiego, 2012.

- Presión: Grupo motobomba o por gravedad
- Filtros: Arena, anillas y malla.
- Abonadoras.
- Válvulas: Ventosas, de paso, de retención, electroválvulas.
- Manómetros.

Red



Figura 3. Tuberías PVC para sistema de riego.
Fuente: Publicar SA, 2014.

- Tuberías de conducción: Principal y secundarias.
- Tuberías de distribución: Subunidad, mangueras.
- Válvulas
- Reguladores de Presión.

Emisores



Figura 4. Emisores para riego.
Fuente: VYR SA, 2011.

- Microaspersores y microchorros.
- Goteros.
- Microtubos.

- Cintas y mangueras (Moya, 2009).

Para diseñar un sistema de riego se debe tomar en cuenta el diseño agronómico que nos provea todo lo relacionado a los tipos de cultivos, suelos, condiciones climáticas etc. y también el diseño hidráulico que permita que la distribución de agua se ejecute de una manera correcta principalmente se enfoca en la red de tuberías, que funcionarán correctamente si los componentes son los adecuados. Con la topología de la red dispuesta, se realiza un diseño hidráulico el cual consta el procedimiento a continuación mostrado:

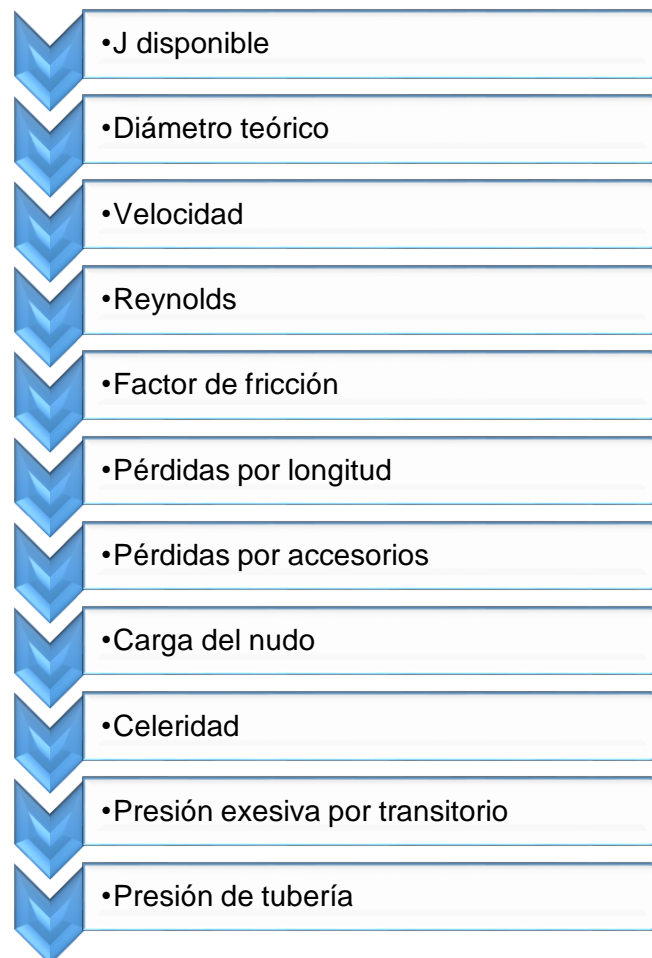


Figura 5. Parámetros de cálculo hidráulico.
Fuente: Córdova, 2015.

A continuación se enlistan las formular para el cálculo de cada uno de los parámetros mostrados en el cuadro anterior.

El J^* disponible o gradiente hidráulico necesario:

$$J^* = \frac{H_c - \left(Z_i + \frac{P_{\min}}{\gamma} \right)}{\sum L_j} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

Hc -altura de cabecera en m.

Zi -altura topográfica del nudo en m.

$\frac{P_{\min}}{\gamma}$ -presión mínima requerida en el nudo en mca.

Lj -longitud acumulada de tubería en m.

Los diámetros teóricos:

$$D_{\text{teo}} = \sqrt[5]{\frac{8 \times f \times Q^2}{\pi^2 \times g \times J^*}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

D_{teo} - diámetro teórico en m.

Q - caudal que circula por la tubería en m³/s.

g - gravedad en m/s².

J^{*} - pendiente disponible crítica entre todos los nudos en m/m/m.

f - factor de fricción adimensional.

La velocidad:

$$V = \frac{Q \times 4}{\pi \times D^2} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

V -velocidad en m/s.

D -diámetro en m.

Q -caudal en m³/s.

Número de Reynolds:

$$\text{Re} = \frac{V \times D}{\nu} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

- Re** -número de Reynolds.
V -velocidad en m/s.
D -diámetro en m.
 ν -coeficiente de viscosidad cinemático.

Factor de fricción:

$$\frac{1}{f} = -2 \log_{10} \left(\frac{\frac{K}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

- K** -rugosidad relativa de la tubería.
D -diámetro de la tubería en m.
Re -número de Reynolds.

Pérdidas por la ecuación de Darcy:

$$hf = \left(\frac{8 \times f \times L \times Q^2}{\pi^2 \times g \times D^5} \right) \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

- D** -diámetro teórico en m.
Q -caudal que circula por la tubería en m³/s.
g -gravedad en m/s².
L -longitud de la tubería en m.
f -factor de fricción adimensional con Colebrook.

Se calcula el número de conexiones, cambios de dirección que están en la red, se obtiene las pérdidas por accesorios que se acumulan, se consigue las cargas en los nudos y aplica las válvulas para reducir las presiones que afectan de ser el caso con la emisión del caudal por las altas presiones. Con las pérdidas primarias y secundarias se obtiene la carga el nudo.

Las presiones en el caso de algún transitorio:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K \times D}{E \times e}}} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

- a** -celeridad.
- K** -módulo de compresibilidad (N/m²).
- ρ** -densidad del agua (kg/m³).
- E** -módulo de Young (N/m²).
- e** -espesor de la tubería (mm).
- D** -diámetro de la tubería (mm).

El pulso de Joucoski o diferencial de presión:

$$\Delta H = \frac{a}{g} V_0 \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

- ΔH** -pulso de Joucoski, diferencial de presión.
- g** -gravedad en m/s².
- V₀** -velocidad inicial m/s.

Inmediatamente se calcula la presión de la tubería sumando la presión en el nudo con el aumento por sobrepresión del transitorio; para ver que carga de trabajo debe ser la tubería comercial para soportar los transitorios y la presión dinámica.

1.4.2. Riego a la demanda

Consiste en proporcionar el riego en forma continua de acuerdo a los requerimientos de los cultivos, este método de distribución le da la oportunidad al agricultor de decidir la aplicación del riego, tanto en intensidad como en frecuencia; sin embargo, ello requiere de una red de gran capacidad. La eficiencia de riego tiende a ser baja y se crean vicios como no aplicar el riego en la noche y el uso de láminas de riego altas (Valverde, 2007).

Lamaddalena (2007), nos muestra el modelo de Clement, que nos sirve para obtener los caudales que pasan por las distintas líneas del sistema de riego. Entonces para su obtención se sigue el siguiente procedimiento:

Se calcula el grado de libertad de la red que viene dado por:

$$GL = \frac{t}{t'} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

GL -grado de libertad de la red.

t -número de horas diarias.

t' -número de horas que se regará por la disponibilidad del recurso.

La dotación del riego para una hectárea de cultivo:

$$d = 2.778 \times Pms \times \frac{S}{N} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

Pms -pluviosidad media del sistema en l/m²/horas.

S -superficie de riego en Ha acumulada.

N -número de hidrantes acumulados.

d -dotación el L/s.

El rendimiento de la red:

$$r = \frac{t'}{t} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

- r** -rendimiento de la red.
t -número de horas diarias.
t' -número de horas que se regará por la disponibilidad del recurso.

La probabilidad de funcionamiento:

$$p = \frac{q_s \times A}{q_d \times R} \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

- A** -superficie de riego en Ha acumulada.
R -número total de hidrantes en la red.
q_d -dotación el L/s.
q_s -caudal ficticio continuo en L/s/Ha.
p -probabilidad.

La garantía del suministro:

Tabla 1. Garantía de suministro.

| Nº Hidrantes | Garantía de suministro |
|--------------|------------------------|
| 1 - 5 | 100% |
| 6 - 20 | 99% |
| 21- 50 | 95% |
| > 50 | 90% |

Fuente: Pascua, 2010.

El coeficiente de variación normal:

Tabla 2. Distribución normal.

| Pq | U (Pq) |
|------|--------|
| 0.90 | 1.285 |
| 0.91 | 1.345 |
| 0.92 | 1.405 |
| 0.93 | 1.475 |
| 0.94 | 1.555 |
| 0.95 | 1.645 |
| 0.96 | 1.755 |
| 0.97 | 1.885 |
| 0.98 | 2.055 |
| 0.99 | 2.324 |
| 1.00 | 2.750 |

Fuente: (Kanakakis et al, 2014).

El número de hidrantes funcionando:

$$N = (R \times p) + U(Pq) \times \sqrt{(R \times p)(1 - p)} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

R -número de hidrantes acumulados hasta el nudo.

p -probabilidad.

U(Pq) -coeficiente de variación normal.

N -número de hidrantes en funcionamiento.

El caudal por línea:

$$Q = N \times d \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

N -número de hidrantes en funcionamiento.

d -dotación el L/s.

1.4.3. Riego por turnos

Esta modalidad de riego es un reparto de agua entre los regantes de una comunidad, que consiste que el agua esté disponible y se suministrará a cada usuario por una rotación previamente programada, este sistema reduce la demanda del recurso y abarata los costos, se utiliza normalmente donde la disponibilidad del recurso es limitada (Asociación del Riego Sostenible, 2015).

1.4.4. Riego por aspersión

Se considera como una lluvia artificial, a través de la cual se riega el cultivo para su crecimiento y producción, con la ventaja de que esa lluvia es controlada para su manejo. En este sistema, el agua es llevada a presión hasta los distribuidores, diseñados para trabajar a presiones y separaciones diferentes. Las ventajas de este tipo de riego es que se utiliza en cualquier tipo de topografía, en suelos arenosos, salinos etc. En zonas de baja temperatura mantiene una temperatura constante más alta que permite que el cultivo no se deteriore (Valverde, 2007).



Figura 6. Riego por aspersión.
Fuente: NAANDANJAIN IRRIGATION, 2015.

1.4.5. Riego por goteo

Es un sistema de riego establecido para aquellas zonas áridas, con suelos salinos y evapotranspiración alta, donde la disponibilidad de agua es el problema principal. En términos generales, consiste en distribuir el agua bajo presión a una serie de boquillas o goteros, a través de los cuales la presión desaparece y hace que el agua salga en formas de gotas, lentamente según el tipo de gotero (Valverde, 2007).



Figura 7. Riego por goteo.
Fuente: El Jardín, 2015.

1.4.6. Topología

Son las propiedades geométricas que se encuentran en un cuerpo, estas propiedades no cambian, permanecen constantes, y definen las características propias de zonas para tomar decisiones en función de las ventajas o desventajas.

1.4.7. Epanet

Epanet es un programa de ordenador para el análisis de sistemas de distribución de agua potable. Aunque en general puede ser utilizado para el análisis de cualquier fluido no compresible con flujo a presión.

El programa realiza análisis hidráulicos de redes de tuberías a partir de las características físicas de las tuberías y dinámicas de los nudos (consumos) para obtener la presión y los caudales en nodos y tuberías respectivamente. Adicionalmente, Epanet analiza calidad de agua a través del cual es posible determinar el tiempo de viaje del fluido desde las fuentes (depósitos y embalses), hasta los nodos del sistema.

Entre los elementos que puede simular el programa se encuentran fundamentalmente tubos, nodos, depósitos y embalses (referencias de carga constante) y adicionalmente permite utilizar elementos más complejos como bombas y válvulas (Grupo Aguas de Valencia, 2015).

1.4.8. Toolkit de Epanet

Toolkit es un paquete de herramientas con el potente algoritmo de cálculo de Epanet, más una serie de funciones programables. Se programa módulos de cálculo avanzado ya sea para el diseño, análisis o explotación de redes. Esta herramienta nace de la necesidad de resolver las nuevas exigencias técnicas y operativas en la gestión de redes de distribución que requieren modernas herramientas que, en muchos casos, deben ser diseñadas para las características propias de cada sistema.

El Toolkit para programadores de EPANET es una librería dinámica (DLL) de funciones que permiten a los desarrolladores personalizar el motor de cálculo de EPANET de acuerdo a sus propias necesidades. Las funciones se incorporan a aplicaciones de 32-bits escritas en C/C++, Delphi, Pascal, Visual Basic o cualquier lenguaje que llame a funciones de un archivo DLL de Windows.

Teniendo en cuenta que los archivos del Toolkit se limitaban a sistemas operativos que pudieran interpretar archivos DLL (Windows, fundamentalmente), esta librería

supone un importante paso hacia el uso de EPANET en entornos multiplataforma, consolidándolo como el estándar mundial de modelación hidráulica.

La librería supone una reescritura completa del código en C hacia un formato portable, moderno y extensible, que además es independiente del sistema operativo y del hardware del sistema. La librería es una implementación completa del motor de cálculo de Epanet, incluyendo simulación hidráulica y de calidad y que integra la extensión MSX (análisis de múltiples especies) (Epanet, 2012).

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE DISEÑO

2.1. Redes a la demanda por el modelo de Clement.

Para iniciar el cálculo a la demanda es necesario el caudal ficticio continuo, que es la cantidad de agua que necesita el patrón de cultivo de la zona de estudio, se lo obtiene con el programa Cropwat 8.0, que se ha proporcionado a través de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), aquí se deben ingresar varios parámetros de cultivo, características meteorológicas propias del lugar y del suelo.

Se recopila información de la localidad con los anuarios que proporciona el INAMHI, para las redes San Rafael y Tuncarta se recuperaron datos de las estaciones Cotopaxi – Clirsén y Saraguro respectivamente, sus especificaciones se encuentran en las Tablas 20 y 21 del Anexo – A.

Se ingresa valores del clima de los diferentes entornos donde se encuentran las redes, las unidades en las que se trabaja pueden ser manipuladas dentro del aplicativo, aquí se necesita temperaturas mínimas y máximas en °C, humedad de la zona en %, velocidad de viento en m/s, y la insolación en horas; las cifras se los obtiene en los anuarios del INAMHI y se encuentran en las Tablas 22, 23, 24 y 25 del Anexo – A. La precipitación es relevante dentro del cálculo del caudal ficticio, así que también se extraen los datos de la entidad de control meteorológico, los valores están en las Tablas 26 y 27 del Anexo – A.

Los datos de cultivos y suelo fueron recopilados del manual de la FAO, que nos proporciona una variedad de plantas que son comunes en siembras. Las plantaciones dentro de las zonas de estudio son similares, porque las zonas adaptan condiciones para que se desarrollen este tipo de vegetación; estos son alfalfa, cereales, cebolla, hortalizas, maíz y pastos para San Rafael, y para Tuncarta los anteriores excluyendo cebolla, estas cifras se obtuvieron del Plan de Desarrollo Territorial para Saraguro (2015) y para San Andrés (2012) en el apartado del uso de suelo. Se inicia con el valor de K_c , que es la variación de crecimiento que tiene el cultivo a lo largo de su vida, (Véase Tablas 28 y 29, Anexo – A); la duración en días del cultivo para sus diferentes etapas (Véase Tablas 30 y 31, Anexo – A), la profundidad radicular, que es la profundidad máxima de las raíces en dos tiempos de crecimiento, y la fracción de agotamiento crítico, que es la profundidad a la cual la planta va a entrar en un estrés hídrico, estos valores están en Tablas 32 y 33 del Anexo – A; Por último para los datos de los cultivos, se ingresa las cantidades de K_y , que son los factores

de respuesta de crecimiento de la planta (Véase Tablas 34 y 35, Anexo – A) y su altura máxima (Véase Tablas 28 y 29, Anexo – A).

Para empezar con los valores de suelo, se ingresa, la humedad disponible del suelo (mm/m), la tasa máxima de infiltración de la precipitación (mm/día), profundidad radicular máxima (mm), del cultivo más representativo, el agotamiento inicial de humedad de suelo (%) y la humedad de suelo inicial disponible (m/m); todos estas cifras se encuentran en las Tablas 36 y 37 del Anexo – A.

El patrón de cultivo de la zona se lo genera con el tipo de plantación y su porcentaje de la totalidad de la superficie sembrada, es importante especificar las fechas de siembra para verificar el requerimiento del agua en diferentes escenarios en el tiempo, y finalmente obtener el caudal ficticio continuo.

Los datos ingresados dentro del programa para la red San Rafael se muestran en el Anexo – B y para el sistema Tuncarta en el Anexo – C.

La metodología que se utilizó para generar los archivos digitales de “San Rafael demanda” y “Tuncarta demanda” que contienen los diseños a la demanda de las redes es la siguiente:

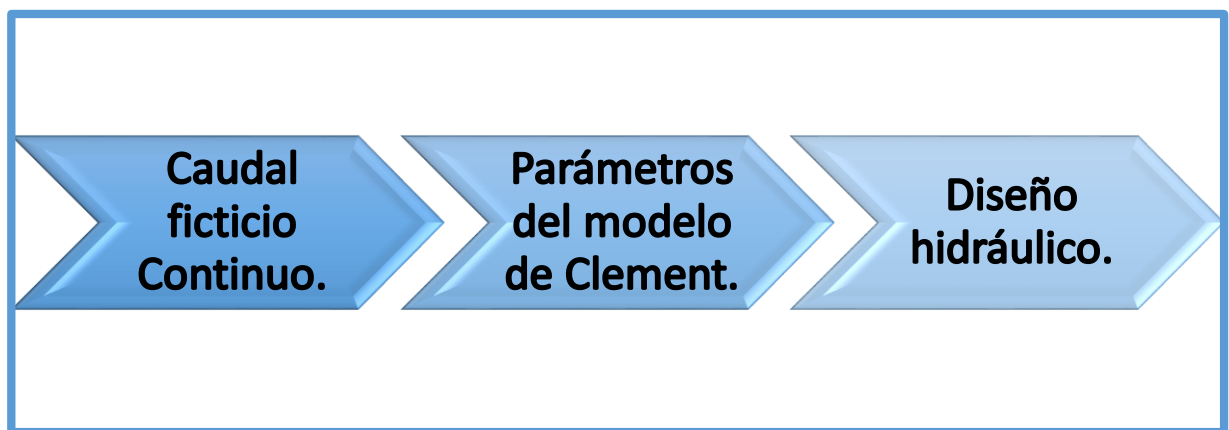


Figura 8. Metodología para diseño a la demanda.
Fuente: Córdova, 2015.

2.2. Redes en Epanet

Se inicia al trazar una capa de la red en Autocad, la cual nos permite exportarla a Epanet y posteriormente a Epanet.

Una vez con estos datos se ingresan a Epanet como se muestra en la Figura 10:

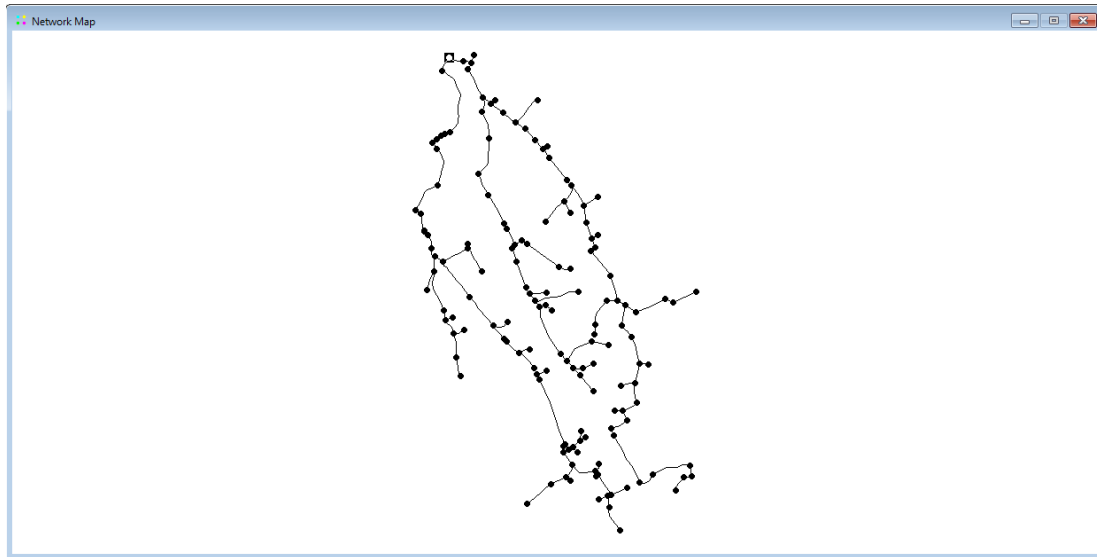


Figura 9. Red importada a Epanet.
Fuente: Córdoba, 2015.

Se depura la red con los nudos que se filtran por pequeños errores de dibujo en Autocad, se coloca los datos en cada uno de los nudos, como cota, identificación, coeficiente de emisor; también datos en las líneas como rugosidad, diámetro, longitudes.

Para el cálculo del coeficiente del emisor se utilizó la siguiente ecuación que maneja Epanet y los emisores de mercado, que van en función de:

$$Q = k \times \sqrt{P} \quad (15)$$

Dónde:

Q- caudal en l/s.

P- presión en el punto en mca.

k- adimensional.

De esta ecuación se despeja “k”, que es el coeficiente que se utiliza en las diferentes redes. Para la tubería que une el punto de consumo con los hidrantes se coloca una longitud mínima de 1 metro para conectar a los nudos de control, estas líneas no afectan al análisis, porque son de pequeña longitud que sus pérdidas son nulas.

| Junction Nudo2 | |
|-------------------|------------|
| Property | Value |
| *Junction ID | Nudo2 |
| X-Coordinate | 750122.66 |
| Y-Coordinate | 9836571.54 |
| Description | |
| Tag | |
| *Elevation | 4080 |
| Base Demand | 0 |
| Demand Pattern | |
| Demand Categories | 1 |
| Emitter Coeff. | |
| Initial Quality | |
| Source Quality | |
| Actual Demand | #N/A |
| Total Head | #N/A |
| Pressure | #N/A |
| Quality | #N/A |

Figura 10. Ingreso de datos a Epanet.
Fuente: Córdoba, 2015.

Se coloca las válvulas reductoras de presión en la red para cumplir la carga que requieren los hidrantes y las presiones de trabajo de las tuberías.

Se ejecuta el programa y chequea que cumpla la presión en todos los puntos, estas no deben ser menores a 10 m ni mayores a 80 m en nudos de consumo.

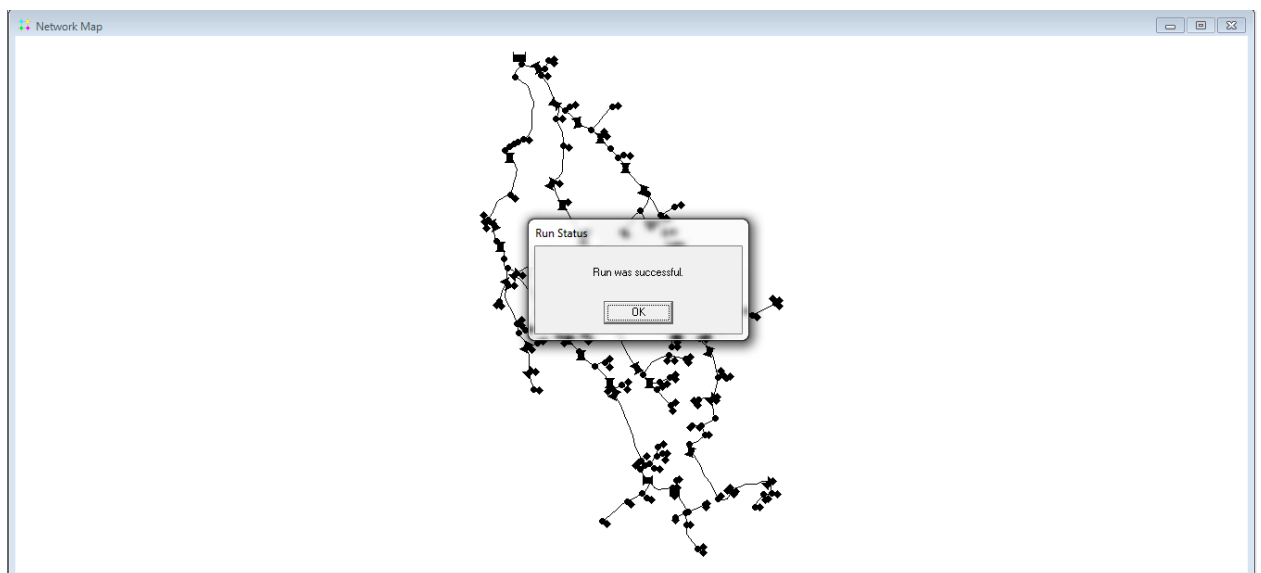


Figura 11. Simulación de la red en Epanet.
Fuente: Córdoba, 2015.

Se verifica el diseño.

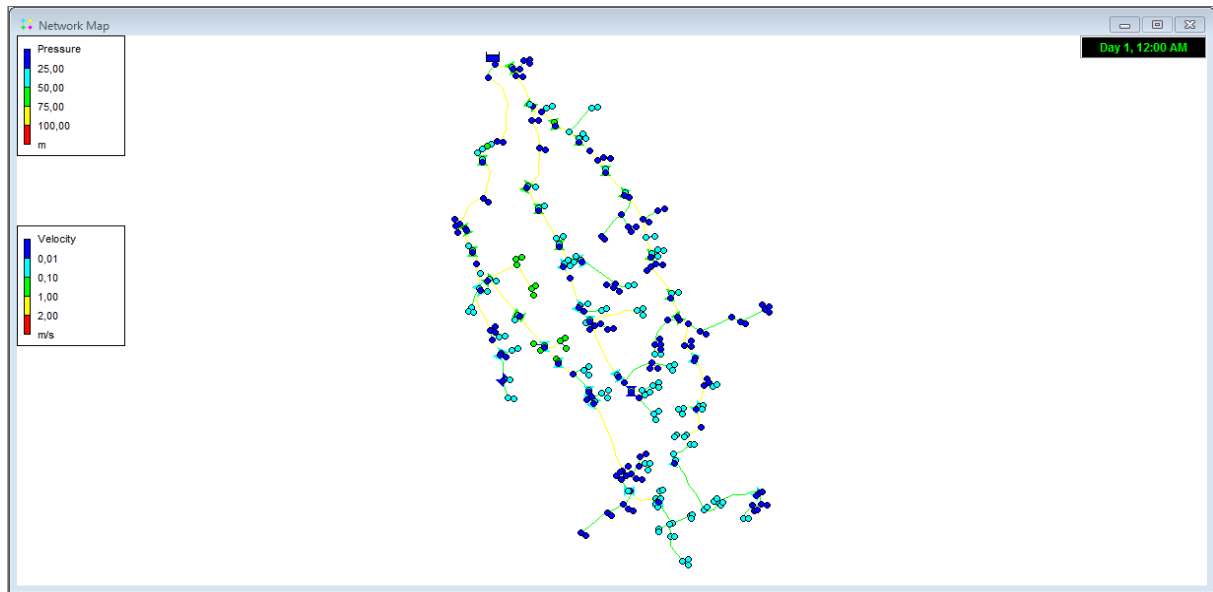


Figura 12. Revisión de la red en Epanet.
Fuente: Córdova, 2015.

2.3. Definición de los criterios de sectorización

Para determinar sobre qué parámetro principal se basa la sectorización se toma en cuenta que las redes están en una zona de una topografía muy variada, y se tiene un amplio campo para aprovechar sus diferentes niveles de presión. El beneficio que tiene una distribución por carga hidráulica está en la eficiencia energética, incluso en la selección de los aspersores para las parcelas, ya que al trabajar con menos presión, el aspersor es relativamente más económico que el emisor que trabaja con cargas altas.

Una sectorización por niveles de presión permite un mejor control, y las redes de estudio quedan listas para que se implemente un sistema de vigilancia de fugas automatizado, haciendo una revisión por los niveles de carga, que para este trabajo de investigación se han definido con los siguientes rangos:

Tabla 3. Rangos de sectores.

| Sector | P. Mínima | P. Máxima |
|----------|-----------|-----------|
| Sector 1 | 0 | 15 |
| Sector 2 | 15 | 40 |
| Sector 3 | 40 | 80 |

Fuente: Córdova, 2015.

2.4. Ofimática de sectorización

Se ha utilizado Toolkit de Epanet, que permite utilizar los resultados que se obtienen en el análisis y sacar ventaja con una programación que se adapte a lo que se requiere, en este caso la sectorización de los nudos. Se inicia tomando un archivo de extensión .RPT que nos genera Epanet, para obtener los parámetros calculados dentro del programa, este archivo se convierte en una extensión .txt delimitado por espacios, para luego editar en Excel los nudos con los que se trabaja que son los nudos de demanda, ya que no todos los nudos de la red son de consumo, por lo tanto hay que extraer esos nudos, porque si se aíslan esos puntos en la sectorización, se cerrarían conexiones de paso de caudal. Se exporta luego una tabla en formato .tsv con la cual se trabaja dentro de la ofimática de sectorización.

La Figura 13 muestra una fracción del resultado obtenido por Epanet en su archivo .RPT, de esta tabla lo que nos interesa es la presión y el ID del nudo, que sirve para distribuir cada punto de consumo por zonas.

| Página 9 Resultados de Nudo: (continuación) | | | | | prueba |
|--|----------------|-------------|--------------|---------|--------|
| ID Nudo | Demanda LPS | Altura m | Presión m | Calidad | |
| NudoD40 | 0.00 | 3962.76 | 27.76 | 0.00 | |
| NudoD39 | 0.00 | 4016.39 | 51.39 | 0.00 | |
| NudoD37 | 0.00 | 4018.53 | 18.53 | 0.00 | |
| NudoD70 | 0.00 | 3708.78 | 13.78 | 0.00 | |
| NudoD71 | 0.00 | 3705.35 | 15.35 | 0.00 | |
| NudoD72 | 0.00 | 3683.92 | 12.92 | 0.00 | |
| NudoD74 | 0.00 | 3680.39 | 36.39 | 0.00 | |
| NudoD76 | 0.00 | 3639.53 | 14.53 | 0.00 | |
| NudoD9 | 0.00 | 4005.55 | 30.55 | 0.00 | |
| NudoD10 | 0.00 | 3971.22 | 46.22 | 0.00 | |
| NudoD11 | 0.00 | 3920.33 | 25.33 | 0.00 | |
| NudoD12 | 0.00 | 3918.32 | 38.32 | 0.00 | |
| NudoD13 | 0.00 | 3874.10 | 38.10 | 0.00 | |
| NudoD77 | 0.00 | 3636.02 | 27.02 | 0.00 | |
| NudoD78 | 0.00 | 3635.52 | 26.52 | 0.00 | |
| NudoD79 | 0.00 | 3634.29 | 28.29 | 0.00 | |
| NudoD14 | 0.00 | 3873.43 | 40.43 | 0.00 | |
| NudoD15 | 0.00 | 3871.99 | 46.99 | 0.00 | |
| NudoD16 | 0.00 | 3815.61 | 21.61 | 0.00 | |
| NudoD17 | 0.00 | 3814.49 | 42.49 | 0.00 | |
| NudoD53 | 0.00 | 3821.14 | 20.14 | 0.00 | |
| NudoD55 | 0.00 | 3818.88 | 41.88 | 0.00 | |
| NudoD56 | 0.00 | 3818.31 | 42.31 | 0.00 | |
| NudoD30 | 0.00 | 3685.86 | 17.86 | 0.00 | |
| NudoD31 | 0.00 | 3681.40 | 34.40 | 0.00 | |
| NudoD62 | 0.00 | 3716.29 | 13.29 | 0.00 | |
| NudoD63 | 0.00 | 3711.29 | 16.29 | 0.00 | |
| NudoD64 | 0.00 | 3710.63 | 31.63 | 0.00 | |
| Nudo43 | 0.00 | 3650.18 | 20.18 | 0.00 | |
| Nudo45 | 0.00 | 3649.62 | 24.62 | 0.00 | |
| NudoD26 | 0.00 | 3750.96 | 15.96 | 0.00 | |
| NudoD27 | 0.00 | 3750.49 | 23.49 | 0.00 | |

Figura 13. Archivo .RPT exportado de Epanet.
Fuente: Córdova, 2015.

Se crea un algoritmo para la sectorización, en donde existe una función de decisión la que hace que los nudos se distribuyan a sus respectivos rangos. El flujograma es el siguiente que se muestra en la Figura 14.

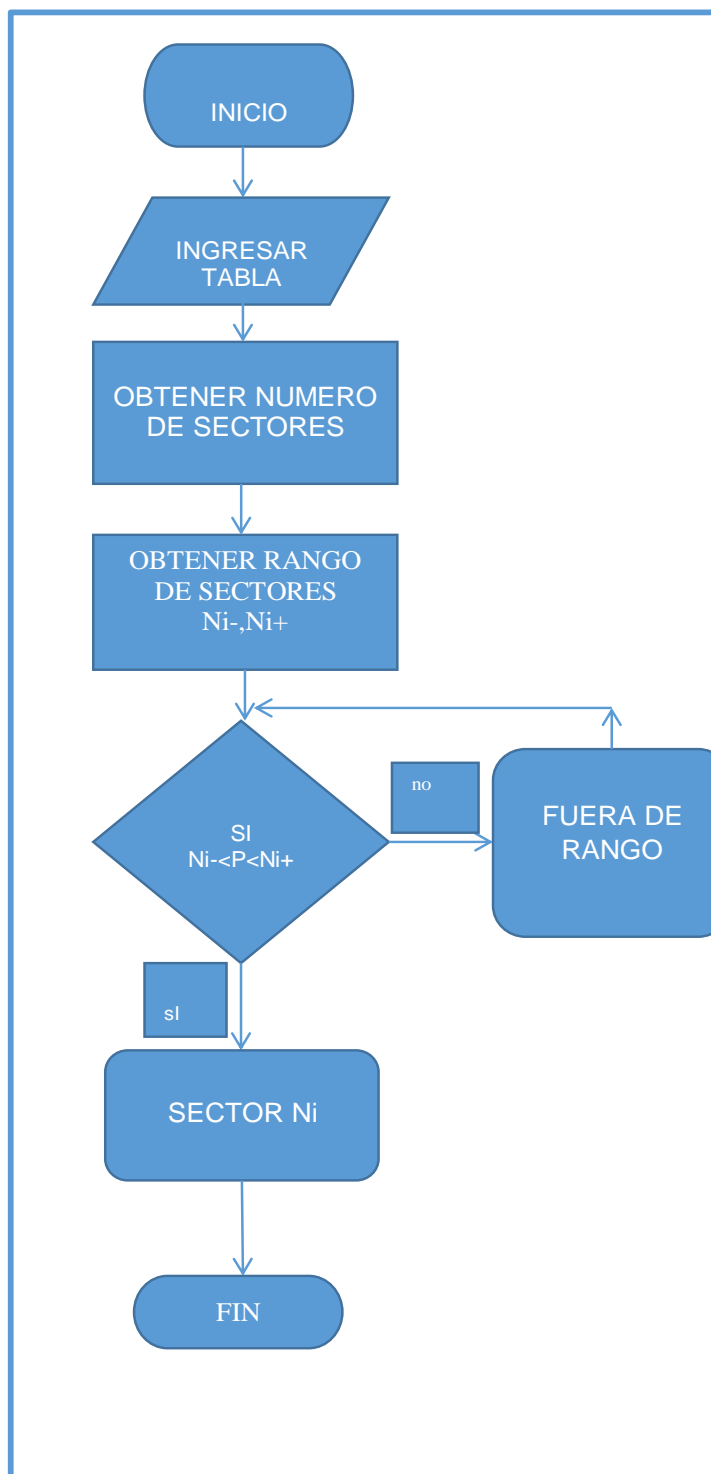


Figura 14. Flujograma de programación.
Fuente: Córdova, 2015.

Para la ofimática de sectorización se trabaja con lenguaje de programación en C, su ambiente de digitación se puede ver en la Figura 15, aquí se desarrolla el código que genera la distribución interna de los nudos, en el cual:

- Se define la plataforma en la cual este aplicativo puede ser utilizado (32/64 bits).
- Se llama a la tabla .tsv de los resultados obtenidos en Epanet.
- Se define las columnas que son utilizadas para la sectorización, únicamente por niveles de presión.
- No se toma en cuenta la primera fila ya que solo contiene campos de texto más no campos de nudos para su procesamiento.
- Se programa para digitar el número de sectores y en función de ello se logra digitar próximamente los rangos.
- En los rangos se idealiza ingresar los valores mínimos y máximos del sector para su distribución de los nudos.
- Se analiza las presiones de los nudos y dependiendo en que rango se encuentran, se los distribuye uno a uno.
- Imprimir el nudo con su respectivo sector.

```

1  |
2  | #include <stdlib.h>
3  | #include <stdio.h>
4  |
5  | int main () {
6  |
7  |     //Cargar Tabla desde el Disco
8  |     FILE* tabla;
9  |     tabla = fopen("C:\\Users\\Owner\\Desktop\\tuncarta.tsv", "rb");
10 |     if (tabla == NULL) return -1;
11 |     fseek(tabla, 0, SEEK_END);
12 |     long tabla_len = ftell(tabla);
13 |     fseek(tabla, 0, SEEK_SET);
14 |     char* tabla_mem = (char*) malloc(tabla_len + 1);
15 |     fread(tabla_mem, sizeof(char), tabla_len, tabla);
16 |     fclose(tabla);
17 |
18 |     //Obtener Numero de Sectores
19 |     printf("Numero de Sectores para Calcular: ");
20 |     int sectores;
21 |     scanf("%d", &sectores);
22 |     printf("\n");
23 |
24 |     //Obtener Rango para Cada Sector
25 |     int* rangos = malloc(sectores * 2 * sizeof(int));
26 |     int s;
27 |     for (s = 0; s < (sectores * 2); s += 2){
28 |         printf("Sector %d:\n", ((s/2)+1));
29 |         printf("Minimo: ");
30 |         scanf("%d", (rangos + s));
31 |         printf("Maximo: ");
32 |         scanf("%d", (rangos + s + 1));
33 |         printf("\n");
34 |     }
35 |

```

Figura 15. Entorno de código en C.
Fuente: Córdova, 2015.

Todo el código desarrollado se puede apreciar en el Anexo – D.

Con esto se obtuvo la siguiente ventana de diálogo:

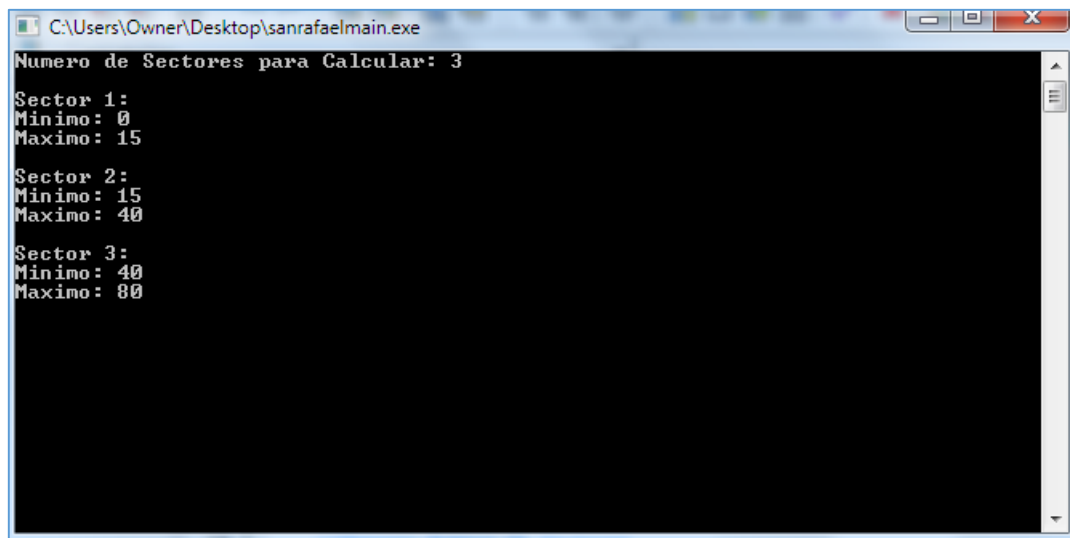


Figura 16. Ventana de diálogo para sectores.

Fuente: Córdova, 2015.

Y su impresión de resultados:

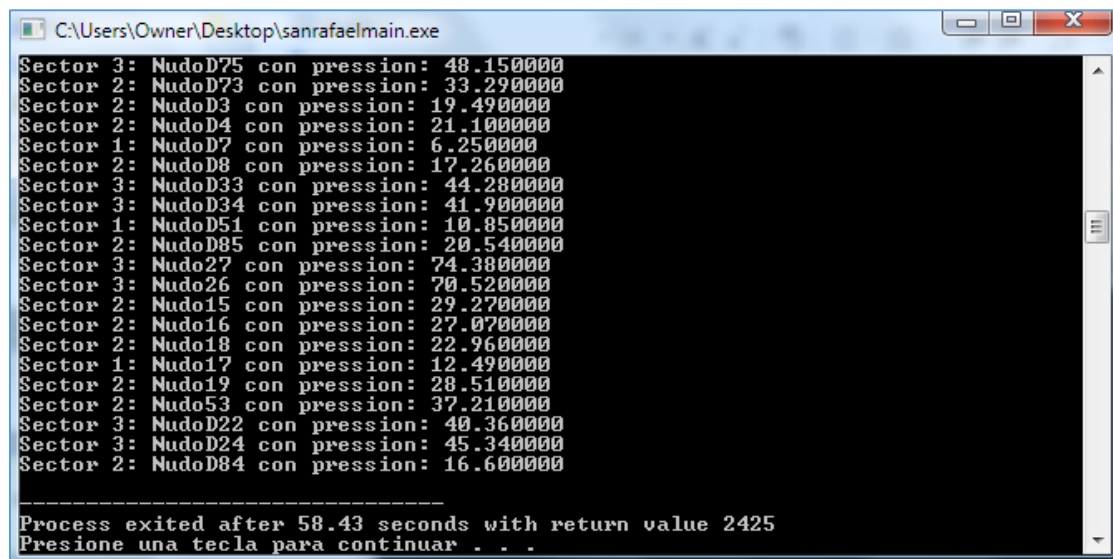


Figura 17. Cuadro de impresión de resultados.

Fuente: Córdova, 2015.

Una vez que se obtiene el cálculo interno, se efectúa la interfaz del aplicativo de sectorización en Java. Aquí se programa los diferentes botones con los que va a contar la ventana de diálogo.

La ventana de interacción PC – Usuario se la realiza en un entorno de programación, que a medida de que se crean los botones de pantalla, genera un código automáticamente, el cual se encuentra bloqueado, porque se lo necesita para ejecutar los botones por el nombre genérico que les asigna el programa.

Para el botón seleccionar (Command Butoon) se inicia llamando el archivo, abriendo una ventana emergente para generar una búsqueda por el usuario dentro de las ubicaciones del equipo (rutas de archivo).

Se habilita un campo de texto (Text field), donde se indica la dirección del archivo dentro del equipo, en este campo también se puede copiar la dirección del archivo dentro del equipo para llamarlo.

En el botón donde se elige el número de sectores (Jsppiner), se limita que este valor no sea menor que uno, porque es un error clasificar cero sectores; posteriormente se guarda este valor en una variable para utilizarlo luego en la sectorización.

Se crea un panel dentro de la ventana de interfaz, éste sirve para ver los sectores, mínimos y máximos de rangos; entonces se elimina toda la pantalla para que al momento de cambiar el jsppiner, se crea un grid siguiendo el número de sectores que se seleccionó, en este grid se coloca el nombre del sector (Label), luego dos leyendas que dicen el mínimo y máximo, que se refieren a los rangos de valores de los diferentes sectores, y finalmente los dos campos de texto (Text field), donde se digitan los valores de frontera de los sectores que pueden ser en decimales con un máximo de dos, para limitar exceso de números, habiendo un mínimo de cero y un máximo de ochenta, ya que en nuestra red se trabaja solo con presiones dinámicas de máximo ochenta metros de columna de agua, para evitar que con un transitorio exista un fallo en la tubería; en consecuencia estos valores que se digitan, se guardan en una variable para usarlos en la clasificación de los nudos.

En el botón sectorizar (Command Butoon) se llama archivo que se obtuvo con el análisis de Epanet y su posterior petición de informe, si no se selecciona el archivo, mostrará un mensaje de error que dice “no se puede abrir el archivo”; si el archivo es el correcto, se crea una variable para declarar los sectores, aquí se define que los valores del archivo se encuentran separados por tabulaciones, para tomar valores por separados y que no se mezclen, ahora que ya se tiene los valores, se procede a analizar nudo por nudo, inicialmente que este dentro de un rango de cero a ochenta, caso contrario envía al nudo a una lista de errores, ahora si el nudo está dentro de las condiciones de frontera de cada

sector, se lo envía a su sector correspondiente, este procedimiento se lo realiza bajo una operación de condicional de decisión, que analiza cada nudo, lo compara con el rango del primer sector, si está dentro de este sector se queda dentro, caso contrario vuelve al mismo proceso con la nueva condición de frontera del siguiente sector, vale destacar que el valor mínimo de las condiciones de frontera es excluyente, y el valor máximo es incluyente, cuando se analice el último valor se quiebra el análisis y se presentan los resultados.

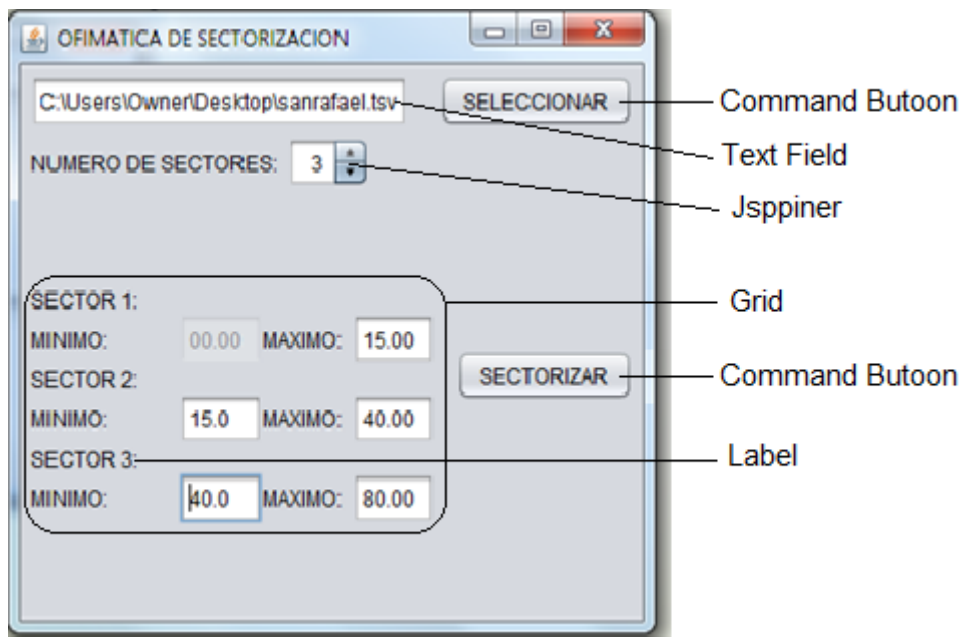


Figura 18. Interfaz del programa.
Fuente: Córdova, 2015.

```

187         continue;
188     }
189     String[] celdas = linea.split("\t");
190     String id = celdas[0];
191     String presstr = celdas[3];
192     double pres = Double.parseDouble(presstr);
193     if(pres < PRES_MIN || pres > PRES_MAX) {
194         //clasificacionErrores += id + ": " + pres + "\n";
195         sectorPK[10]++;
196         clasificacionErrores += sectorPK[10] + "\t" + id + "\n";
197     } else {
198         for (int i = 0; i < 10; i++) {
199             double min = rangos[i][0];
200             double max = rangos[i][1];
201             if (pres >= min && pres < max) {
202                 sectorPK[i]++;
203                 //clasificacionSectores[i] += id + ": " + pres + "\n";
204                 clasificacionSectores[i] += sectorPK[i] + "\t" + id + "\n";

```

Figura 19. Digitación del código en Java.
Fuente: Córdova, 2015.

Con los resultados ya obtenidos aparece una ventana auxiliar, en donde se encuentran: los resultados, sector, luego un salto de línea, una numeración de los números del sector y las identificaciones de los nudos dentro de cada sección. También se coloca una sección de errores donde están los nudos fuera del rango de trabajo y nudos con presiones negativas si existieran.

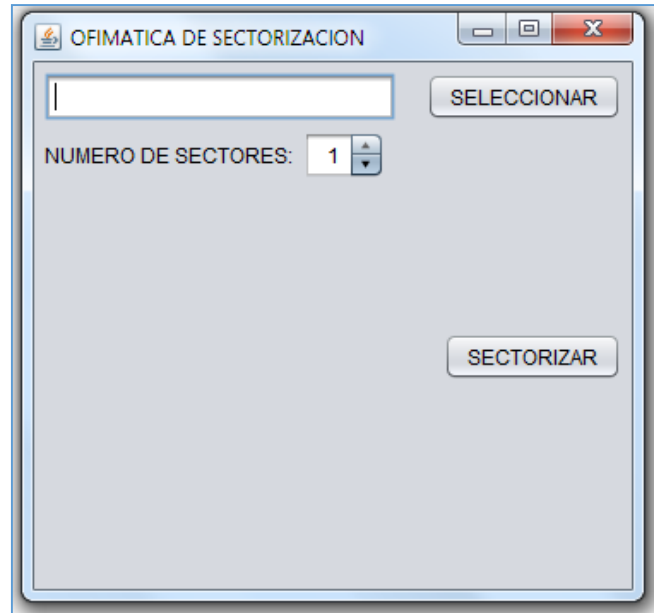


Figura 20. Ofimática de sectorización.
Fuente: Córdova, 2015.

2.5. Redes por turnos

El primer diseño a turnos se lo ejecuta sin un criterio de distribución de los nudos, solo se separa los turnos por los ramales de las redes, como el ramal derecho para un turno y el izquierdo para otro, éste procedimiento es el que comúnmente se utiliza.

En el segundo diseño por turnos se analiza la red para su distribución equitativa de los nudos, tanto del número de puntos de consumo como de hidrantes; la propuesta es dividir la red por rangos de presiones, entonces se distribuye los nudos en nuevos turnos; se trabaja con la ofimática de sectorización, que utiliza Toolkit para dividir los nudos en los sectores, que se muestran en la Tabla 3, y se busca aspersores que trabajen acorde a nuestras condiciones y a las presiones que existen en la red, entonces las presiones quedan establecidas por los niveles de carga, quedando de la siguiente manera como se muestra en la Tabla 3.

La operación de división de hidrantes la realiza la ofimática de sectorización, dando una distribución inmediata de los nudos a los sectores, entonces se define los turnos que tienen una jornada de riego de 6 horas cada uno, empezando el primer turno a las 6h00 am y culminado a las 12h00 pm; y el segundo turno empieza a las 12h00 pm y termina a las 6h00 pm, para la red de San Rafael el turno 1 lo contempla el sector 1 y 3 con 49 hidrantes y el turno 2 será del sector 3 con 76 hidrantes; para la red de Tuncarta el turno 1 se realiza para el sector 1 y 2 con 95 hidrantes y el turno 2 para el sector 2 con 99 hidrantes.

OFIMATICA DE SECTORIZACION

C:\Users\Owner\Desktop\sanrafael.tsv SELECCIONAR

NUMERO DE SECTORES: 3

SECTOR 1:
MINIMO: 00.00 MAXIMO: 15.00

SECTOR 2:
MINIMO: 15.0 MAXIMO: 40.00

SECTOR 3:
MINIMO: 40.0 MAXIMO: 80.00

SECTORIZAR

Figura 21. Ingreso de datos a la ofimática de sectorización.
Fuente: Córdova, 2015.

RESULTADOS DE SECTORIZACION

RESULTADOS:

| | |
|-----------|---------|
| SECTOR 1: | |
| 1 | Nudo38 |
| 2 | Nudo50 |
| 3 | Nudo51 |
| 4 | NudoD68 |
| 5 | NudoD66 |
| 6 | NudoD58 |
| 7 | NudoD57 |
| 8 | NudoD70 |
| 9 | NudoD72 |
| 10 | Nudo7 |
| 11 | Nudo8 |
| 12 | Nudo39 |
| 13 | NudoD7 |
| 14 | NudoD51 |
| 15 | Nudo17 |
| SECTOR 2: | |
| 1 | NudoD5 |
| 2 | Nudo36 |
| 3 | Nudo33 |
| 4 | NudoD20 |
| 5 | NudoD23 |

Figura 22. Ventana de resultados
Fuente: Córdova, 2015.

Con estos resultados se procede a diseñar por turnos en una hoja electrónica y luego su respectivo análisis en Epanet, en Excel se establece una hoja electrónica donde están los nudos de consumo, cuantos hidrantes existen en él, y el turno al que corresponde. Con los turnos previamente establecidos se ejecuta otra hoja a continuación, donde los caudales se acumulan de acuerdo a como se establecen los turnos en la hoja anterior, así se hace el diseño, obteniendo nuevos diámetros y propiedades hidráulicas. Las redes son ubicadas en Epanet y adicionalmente se ingresan controles simples para la programación de los turnos, fijando reglas de la hora en que se abre y cierran las líneas de la red.

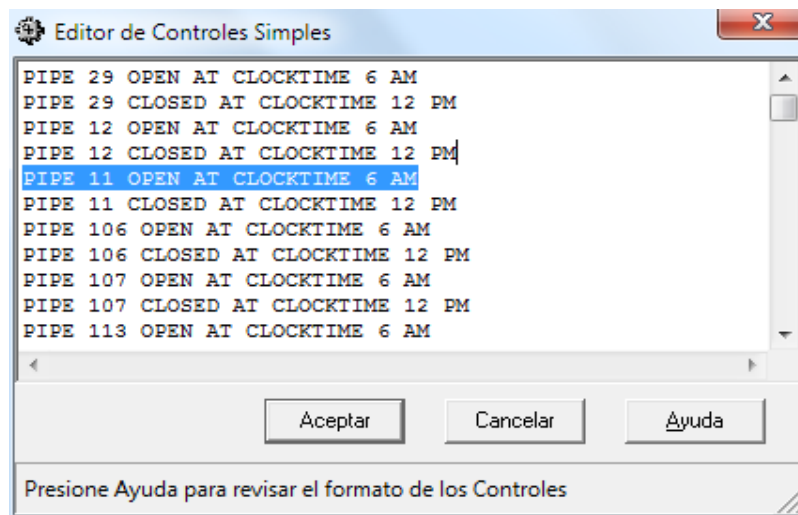


Figura 23. Controles simple para turnos.

Fuente: Córdova, 2015.

La Figura 24 y 25 muestran las redes una vez que se ejecuta el análisis, se observa cómo están distribuidas las presiones, para las dos redes el sector uno se encuentra de color azul, el sector dos de magenta, y el sector tres de verde; también existe un botón en la ventana “visor” donde se manipula la hora de análisis y se ve las características en el tiempo que el usuario lo requiera.

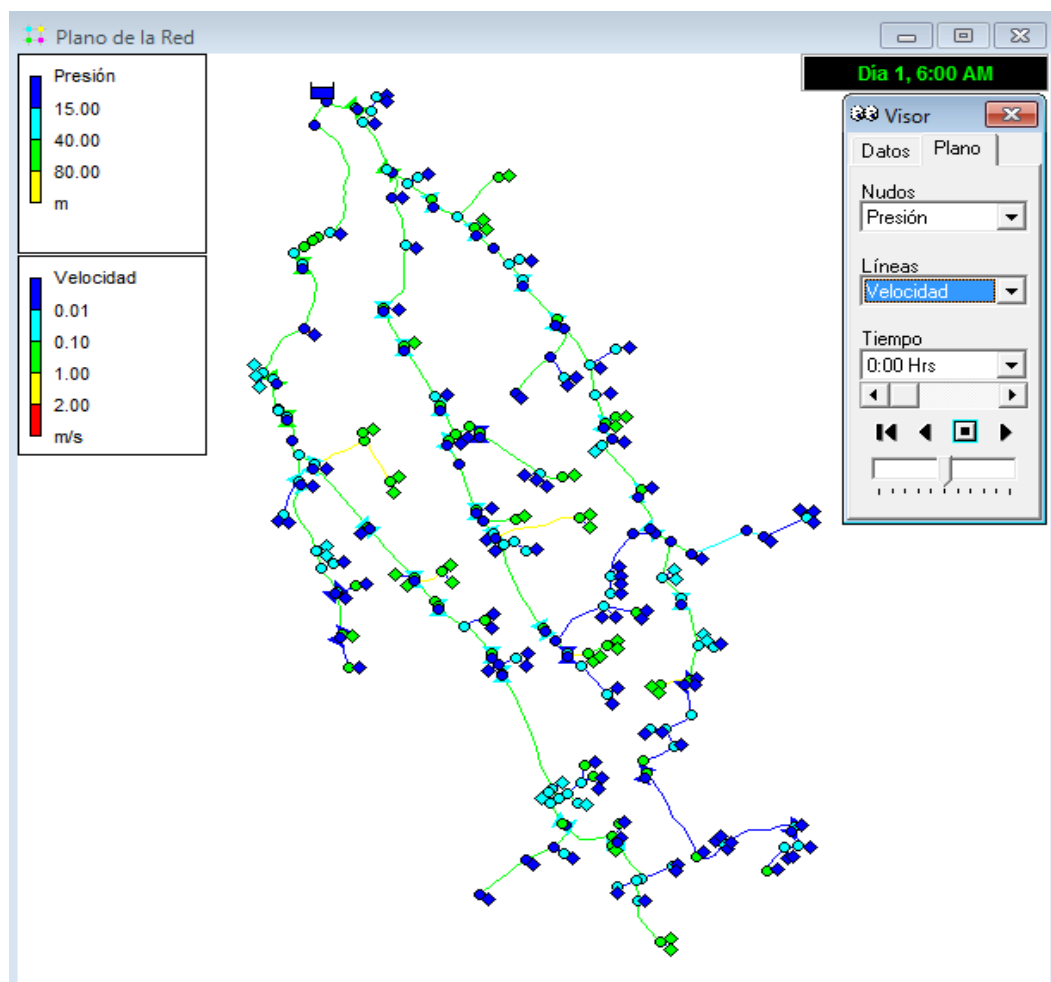


Figura 24. Simulación red San Rafael por turnos.
Fuente: Córdoba, 2015.

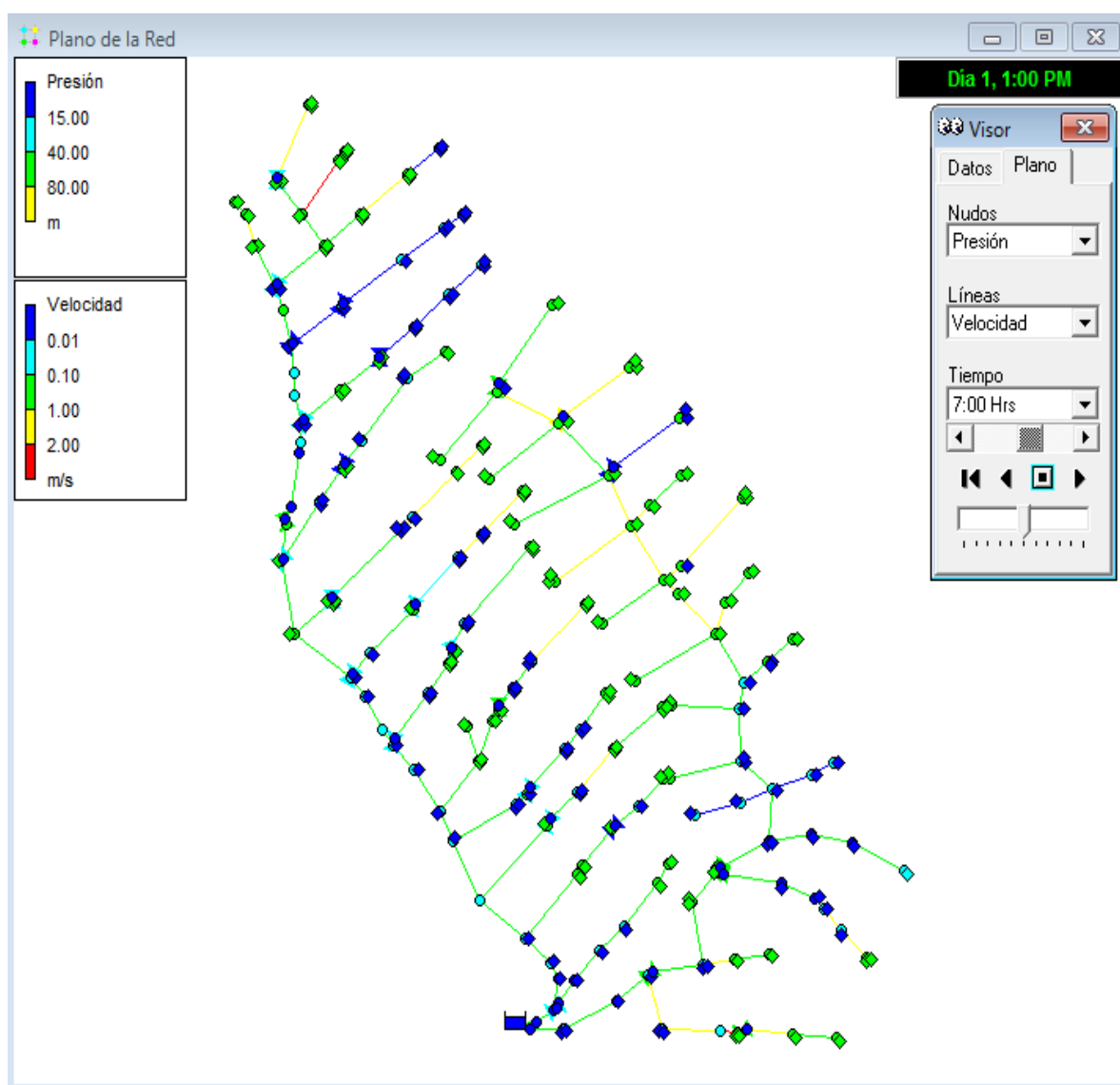


Figura 25. Simulación de red Tuncarta por turnos.
Fuente: Córdova, 2015.

CAPÍTULO III. CASOS DE ESTUDIO

En este proyecto se ha trabajado con dos tipos de redes:

3.1. San Rafael

3.1.1. Ubicación

El sistema de riego San Rafael se encuentra en la parroquia San Andrés (Véase en Figura 26), cantón Guano, provincia de Chimborazo, a 20km de Riobamba “cabecera provincial” y a 12 km de San Andrés “cabecera parroquial”, para el acceso a la localidad. La zona de riego se ubica en la estribación oriental del nevado Chimborazo, Las coordenadas geográficas en la parte central del proyecto son 751.640E 9’833.260N y una altura promedio de 3800 m.s.n.m.

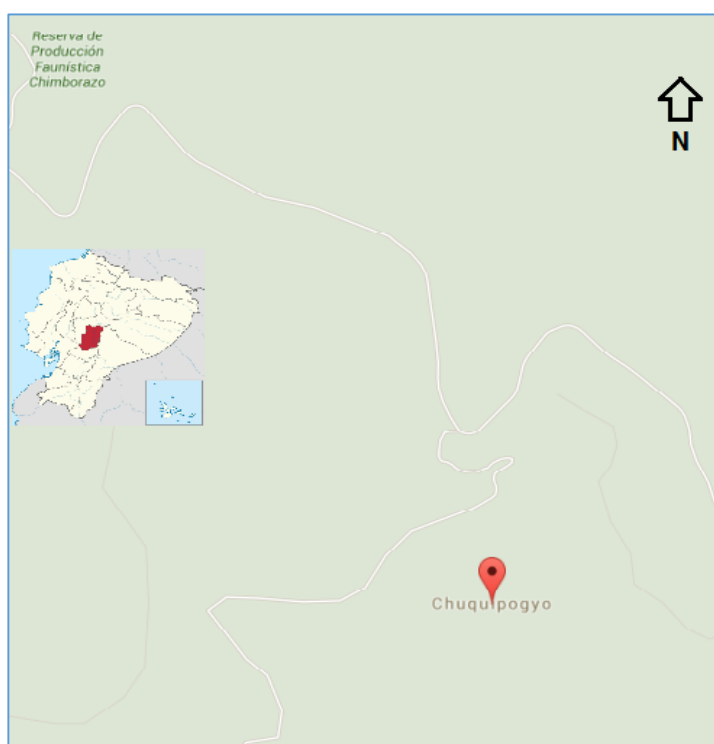


Figura 26. Ubicación San Rafael (751640 E, 9833260 N).
Fuente: Google Earth, 2015.

3.1.2. Área del proyecto

Los linderos de la comunidad cubren aproximadamente 617 ha, de las cuales el área de riego para el sistema constituye un porcentaje mas no la totalidad de la superficie de la comunidad.

3.1.3. Usuarios

Corresponden a 123 usuarios y cada usuario contará con una hectárea de riego.

3.1.4. Clima

El clima del sector donde está ubicado el proyecto corresponde al páramo Andino, con temperaturas medias anuales entre 8 °C y 10 °C y una precipitación pluvial promedia en el año de 696 mm.

3.1.5. Datos topográficos

La topografía en su totalidad de la red de San Rafael fueron proporcionados por el Gobierno Provincial de Chimborazo.

3.1.6. Topología de la red

La red cuenta con 3 ramales bien identificados (ver Figura 27), los cuales se los denomina izquierdo central y derecho respectivamente, el ramal izquierdo tiene 47 hidrantes, el central con 31 y el derecho con 51. EL nudo de cabecera donde se encuentra el reservorio está ubicado a una cota de 4085 msnm, entre el punto más alto y el más bajo existe 567 metros de desnivel, por lo que fácilmente se define que la topografía es muy irregular; la distancia desde el reservorio hasta el punto lejano de la red es de 5358.20 metros.

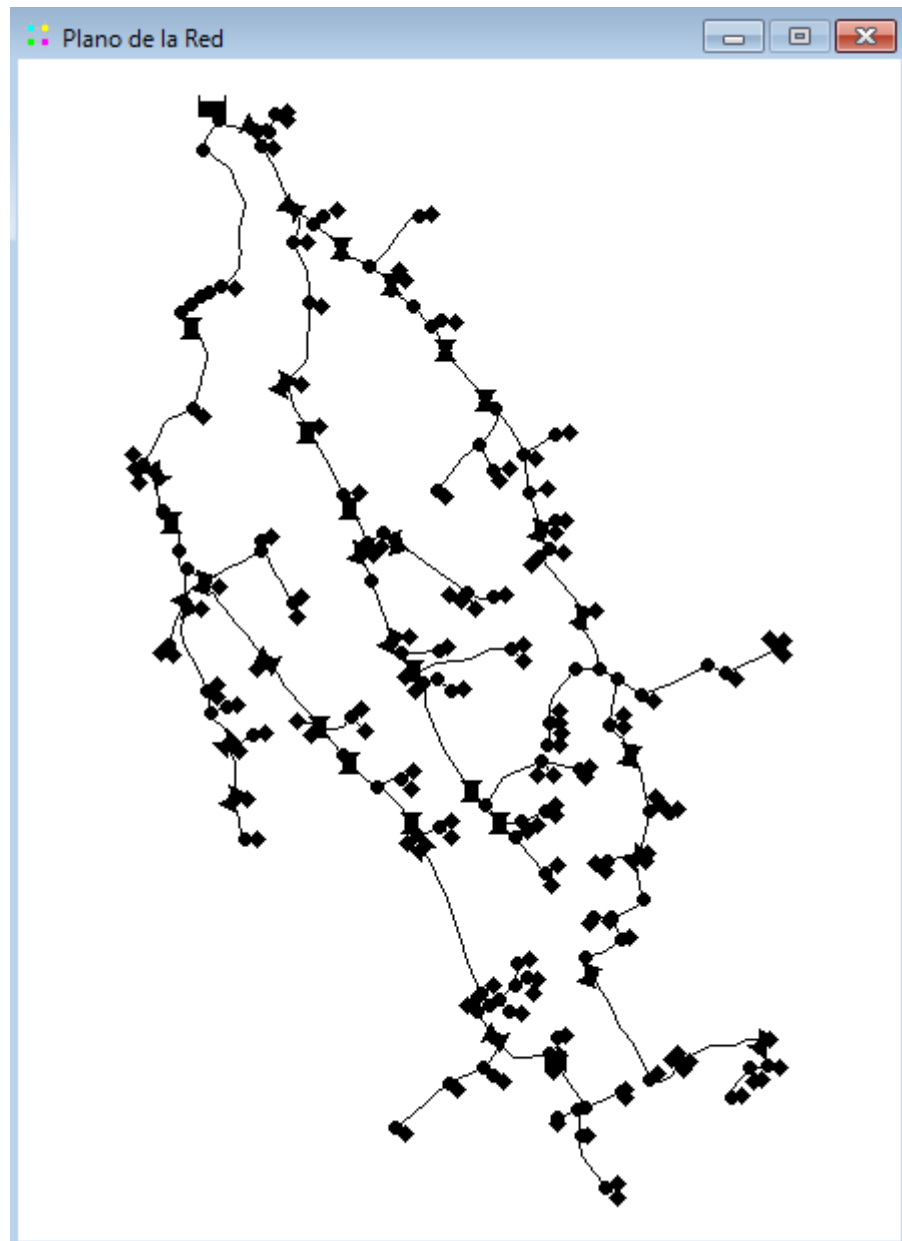


Figura 27. Planimetría de Red San Rafael
Fuente: Córdova, 2015.

3.1.7. Resultados de la red

Con el caudal ficticio continuo que tiene un valor de 0.31 l/s/ha se procede a obtener los resultados con los procedimientos mostrados anteriormente:

Grado de Libertad (**Ec. 9**):

$$GL = \frac{24 \text{ horas}}{14 \text{ horas}} = 1.71$$

La dotación del riego para una hectárea de cultivo (**Ec. 10**):

$$d = 2.778 \times 0.1116 \frac{l}{s \times ha} \times \frac{123 \text{ ha}}{123} = 0.31 \frac{l}{s}$$

El rendimiento de la red (**Ec. 11**):

$$r = \frac{14 \text{ horas}}{24 \text{ horas}} = 0.58$$

La probabilidad de funcionamiento (**Ec. 12**):

$$p = \frac{0.31 \frac{l}{s} \times 192 \text{ ha}}{0.31 \frac{l}{s \times ha} \times 192} = 1 = 100\%$$

La garantía del suministro es del 100% que se la obtiene de la Tabla 1, porque hasta las líneas analizadas los hidrantes que se acumulan son 2; el coeficiente de variación normal en este caso es de 2.75 para una probabilidad del 100% de la Tabla 2.

El número de hidrantes funcionando (**Ec. 13**):

$$N = (1 \times 1) + 2.7 \times \sqrt{(1 \times 1)(1 - 1)} = 1 \text{ hidrante}$$

El caudal por línea **(Ec. 14)**:

$$Q = 1 \times 0.31 \frac{l}{s} = 0.31 \frac{l}{s}$$

El J^* disponible o gradiente hidráulico necesario **(Ec. 1)**:

$$J^* = \frac{4085 \text{ m} - (4050 \text{ m} + 14 \text{ m})}{733.4 \text{ m}} = 0.0286 \frac{m}{m}$$

Diámetros teóricos (luego comercial) **(Ec. 2)**:

$$D_{\text{teo}} = \sqrt[5]{\frac{8 \times 0.02 \times \left(0.00031 \frac{m^3}{s}\right)^2}{\pi^2 \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.0286 \frac{m}{m}}} = 0.0223 \text{ m} = 22.3 \text{ mm} \triangleright 25 \text{ mm}$$

Diámetro interno = 22.4 mm

La velocidad **(Ec. 3)**:

$$V = \frac{0.00031 \frac{m^3}{s} \times 4}{\pi \times (0.0224 \text{ m})^2} = 0.79 \frac{m}{s}$$

Número de Reynolds **(Ec. 4)**:

$$Re = \frac{0.79 \frac{m}{s} \times 0.0224 \text{ m}}{1.14 \times 10^{-6}} = 15459.80$$

Factor de fricción **(Ec. 5)**:

$$\frac{1}{f} = -2 \log_{10} \left(\frac{\frac{2 \times 10^{-6}}{0.0224 \text{ m}}}{3.7} + \frac{2.51}{15459.80 \sqrt{f}} \right) = 0.0278$$

Pérdidas por la ecuación de Darcy (**Ec. 6**):

$$hf = \left(\frac{8 \times 0.0278 \times 262.6m \times \left(0.00031 \frac{m^3}{s}\right)^2}{\pi^2 \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times (0.0224m)^5} \right) = 10.26m$$

Se calcula el número de conexiones, cambios de dirección que están en la red, se obtiene las pérdidas por accesorios que se acumulan, se consigue las cargas en los nudos y aplica las válvulas para reducir las presiones que afectan de ser el caso con la emisión del caudal por las altas presiones.

Las presiones en el caso de algún transitorio (**Ec. 7**):

$$a = \frac{\sqrt{\frac{2.074 \times 10^9 \frac{N}{m^2}}{1000 \frac{Kg}{m^3}}}}{\sqrt{1 + \frac{\left(2.074 \times 10^9 \frac{N}{m^2}\right) \times 22.4mm}{\left(2.575 \times 10^9 \frac{N}{m^2}\right) \times 1.3mm}}} = 373.36$$

El pulso de Joucoski o diferencial de presión (**Ec. 8**):

$$\Delta H = \frac{373.36 \times 1.09 \frac{m}{s}}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 29.94m$$

Inmediatamente se calcula la presión de la tubería para ver que carga de trabajo debe ser la tubería comercial para soportar los transitorios y la presión dinámica.

3.2. Red Tuncarta

3.2.1. Ubicación

El sistema de riego Tuncarta se encuentra en la parroquia Saraguro (ver Figura 28), cantón Saraguro, provincia de Loja. Con una altura que fluctúa desde los 2503 a 2344 m.s.n.m., el centro de la comunidad se encuentra en las coordenadas 699200 E y 9567600 N.



Figura 28. Ubicación Tuncarta (699200 E, 9567600 N).
Fuente: Google Earth, 2015.

3.2.2. Área del proyecto

La zona del proyecto contempla 217 ha., y su área de producción es aproximadamente la mitad de esta superficie.

3.2.3. Usuarios

Este sistema es para el servicio de cerca de 150 usuarios.

3.2.4. Clima

Tiene un clima templado, con presencia de lluvias de enero a mayo. Las temperaturas medias fluctúan entre las mínimas de 5 °C y 10 °C, y máximas que van desde 10 °C y 17 °C.

3.2.5. Datos topográficos

La topografía en su totalidad de la red de San Rafael fueron proporcionados por el Gobierno Provincial de Loja.

3.2.6. Topología de la red

La red cuenta con 2 ramales bien identificados (ver Figura 29), los cuales se los denomina izquierdo y derecho respectivamente, el ramal izquierdo tiene 125 hidrantes y el derecho con 69. EL nudo de cabecera donde se encuentra el reservorio está ubicado a una cota de 1500 msnm, entre el punto más alto y el más bajo existe 218 metros de desnivel, por lo que fácilmente se define que la topografía es irregular; la distancia desde el reservorio hasta el punto lejano de la red es de 2281.45 metros.

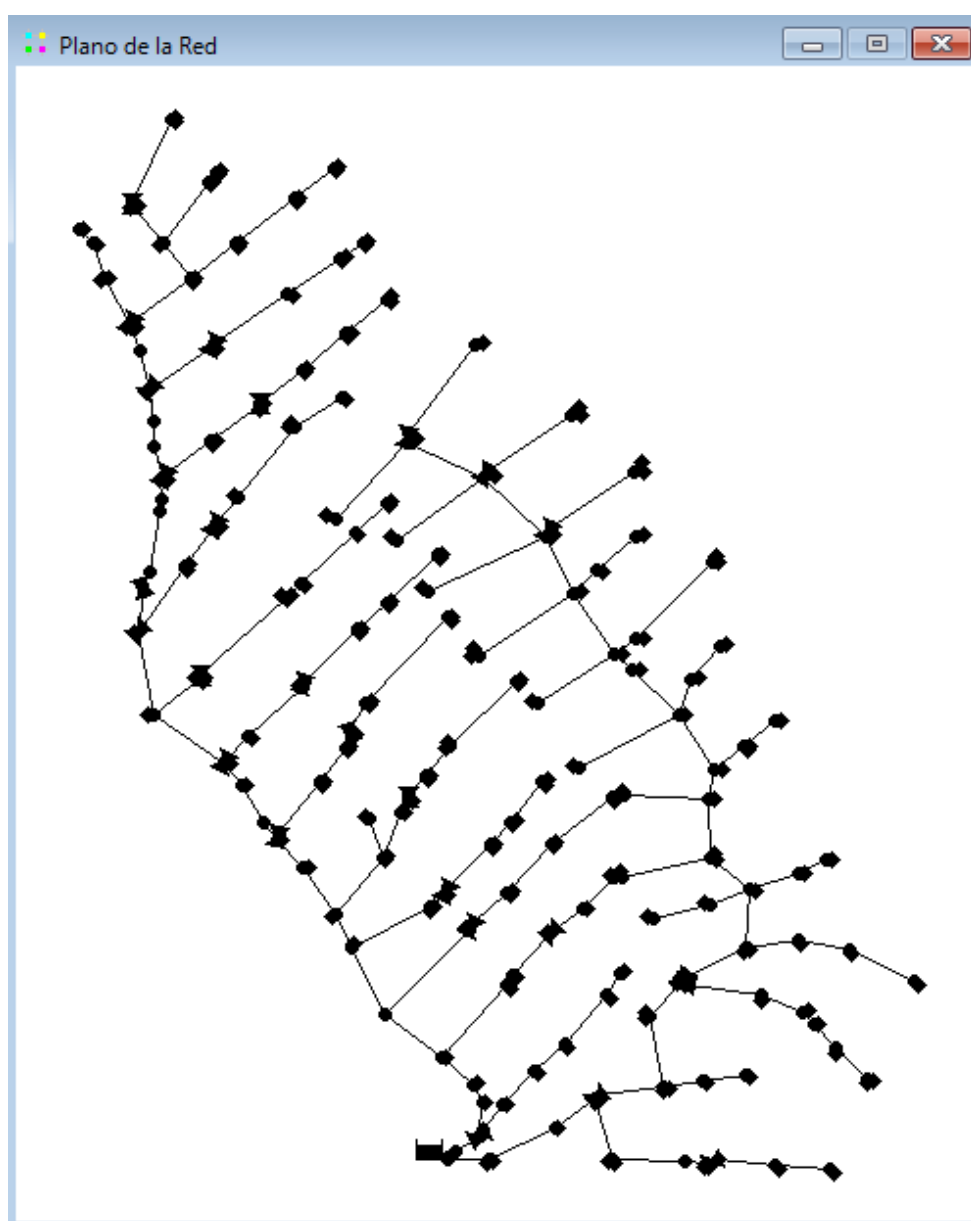


Figura 29. Planimetría de Red Tuncarta
Fuente: Córdova, 2015.

3.2.7. Resultados de la red

Con el caudal ficticio continuo que tiene un valor de 0.36 l/s/ha se procede a obtener los resultados con los procedimientos mostrados anteriormente:

Grado de Libertad (**Ec. 9**):

$$GL = \frac{24 \text{ horas}}{8 \text{ horas}} = 3$$

La dotación del riego para una hectárea de cultivo (**Ec. 10**):

$$d = 2.778 \times 0.1296 \frac{l}{s \times ha} \times \frac{192 \text{ ha}}{192} = 0.36 \frac{l}{s}$$

El rendimiento de la red (**Ec. 11**):

$$r = \frac{8 \text{ horas}}{24 \text{ horas}} = 0.33$$

La probabilidad de funcionamiento (**Ec. 12**):

$$p = \frac{0.36 \frac{l}{s} \times 192 \text{ ha}}{0.36 \frac{l}{s \times ha} \times 192} = 1 = 100\%$$

La garantía del suministro es del 100% que se la obtiene de la Tabla 1, porque hasta las líneas analizadas los hidrantes que se acumulan es uno; el coeficiente de variación normal en este caso es de 2.75 para una probabilidad del 100% de la Tabla 2.

El número de hidrantes funcionando (**Ec. 13**):

$$N = (2 \times 1) + 2.7 \times \sqrt{(2 \times 1)(1 - 1)} = 2 \text{ hidrantes}$$

El caudal por línea **(Ec. 14)**:

$$Q = 2 \times 0.36 \frac{l}{s} = 0.72 \frac{l}{s}$$

El J disponible o gradiente hidráulico necesario **(Ec. 1)**:

$$J^* = \frac{1500 \text{ m} - (1482.84 \text{ m} + 14 \text{ m})}{2281.45 \text{ m}} = 0.0014 \frac{m}{m}$$

Diámetros teóricos (luego comercial) **(Ec. 2)**:

$$D_{\text{teo}} = \sqrt[5]{\frac{8 \times 0.02 \times \left(0.00072 \frac{m^3}{s}\right)^2}{\pi^2 \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.0014 \frac{m}{m}}} = 0.0319 \text{ m} = 31.9 \text{ mm} \triangleright 32 \text{ mm}$$

Diámetro interno = 29 mm

La velocidad **(Ec. 3)**:

$$V = \frac{0.00072 \frac{m^3}{s} \times 4}{\pi \times (0.029 \text{ m})^2} = 1.09 \frac{m}{s}$$

Número de Reynolds **(Ec. 4)**:

$$Re = \frac{1.09 \frac{m}{s} \times 0.029 \text{ m}}{1.14 \times 10^{-6}} = 27734.78$$

Factor de fricción **(Ec. 5)**:

$$\frac{1}{f} = -2 \log_{10} \left(\frac{2 \times 10^{-6}}{0.029 \text{ m}} + \frac{2.51}{27734.78 \sqrt{f}} \right) = 0.0241$$

Pérdidas por la ecuación de Darcy (**Ec. 6**):

$$hf = \left(\frac{8 \times 0.0241 \times 168m \times \left(0.00072 \frac{m^3}{s}\right)^2}{\pi^2 \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times (0.029m)^5} \right) = 8.45m$$

Se calcula el número de conexiones, cambios de dirección que están en la red, se obtiene las pérdidas por accesorios que se acumulan, se consigue las cargas en los nudos y aplica las válvulas para reducir las presiones que afectan de ser el caso con la emisión del caudal por las altas presiones.

Las presiones en el caso de algún transitorio (**Ec. 7**):

$$a = \frac{\sqrt{\frac{2.074 \times 10^9 \frac{N}{m^2}}{1000 \frac{Kg}{m^3}}}}{\sqrt{1 + \frac{\left(2.074 \times 10^9 \frac{N}{m^2}\right) \times 29mm}{\left(2.575 \times 10^9 \frac{N}{m^2}\right) \times 1.5mm}}} = 353.77$$

El pulso de Joucoski o diferencial de presión (**Ec. 8**):

$$\Delta H = \frac{353.77 \times 1.09 \frac{m}{s}}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 39.31m$$

Inmediatamente se calcula la presión de la tubería para ver que carga de trabajo debe ser la tubería comercial para soportar los transitorios y la presión dinámica.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis del caudal ficticio continuo

El valor del caudal ficticio continuo se ve reflejado en función de todos los datos de entrada de lluvia clima suelo y cultivo. En el sistema de San Rafael se obtuvo un caudal de 0.31 l/s/ha y en Tuncarta 0.36 l/s/ha, las lluvias son mayores en Tuncarta, pero solo este parámetro no es un factor determinante, entonces se revisó los valores de temperaturas, y en efecto son mayores en Tuncarta, lo que refleja que la evapotranspiración va a ser mayor, y se necesita mayor demanda de agua, también la humedad es mayor en San Rafael que tiene un valor del 97% y en Tuncarta 95%. El inicio de las plantaciones también marca la temporada del año en que existe más déficit hídrico, ya que a medida de que la planta crece demanda diferentes porcentajes de agua.

4.2. Análisis de redes a la demanda

Todos los resultados de las redes a la demanda se pueden ver en el Anexo – E. En el modelo de Clement, las probabilidades de que un hidrante se encuentre abierto son altas, porque el horario de funcionamiento se reduce, comparado con las 24 que tiene el día; la garantía del suministro llega hasta 0.9 porque en algunos lugares pasan de 50 hidrantes acumulados, entonces al existir mayor número la red se congestiona y se reduce su garantía. Se trabajó con diámetros comerciales de 1.25 MPA, para soportar los efectos transitorios, los diámetros van de desde 20 mm hasta 200 mm, Las pérdidas en algunos tramos de la red son considerables, porque se cuenta con largas longitudes hasta los nudos de demanda. Los valores de las velocidades se encuentran dentro del rango permitido, desde 0.6 m/s a 2.2 m/s.

4.3. Análisis de sectorización

Para la división de secciones se ejecutó el aplicativo en Java con el nombre de “Ofimática de Sectorización”, en esta aplicación se usa Toolkit que permitió clasificar en tres sectores, dependiendo de la presión de trabajo que existe en cada nudo, en las Tablas 4 y 5 se puede ver el resumen de los sectores, y la distribución final en las tablas que están a continuación.

Tabla 4. Sectores San Rafael

| San Rafael | Rango (mca) | Nudos | Hidrantas |
|------------|-------------|-------|-----------|
| Sector 1 | 0-15 | 15 | 20 |
| Sector 2 | 15-40 | 57 | 76 |
| Sector 3 | 40-80 | 19 | 29 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 5. Sectores Tuncarta.

| Tuncarta | Rango (mca) | Nudos | Hidrantas |
|----------|-------------|-------|-----------|
| Sector 1 | 0-15 | 8 | 11 |
| Sector 2 | 15-40 | 84 | 84 |
| Sector 3 | 40-80 | 71 | 99 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Red San Rafael:

Tabla 6. Sector 1 San Rafael.

| SECTOR 1: | Nudos | Hidrantas |
|-----------|---------|-----------|
| 1 | Nudo38 | 1 |
| 2 | Nudo50 | 1 |
| 3 | Nudo51 | 1 |
| 4 | NudoD68 | 1 |
| 5 | NudoD66 | 1 |
| 6 | NudoD58 | 1 |
| 7 | NudoD57 | 1 |
| 8 | NudoD70 | 2 |
| 9 | NudoD72 | 2 |
| 10 | Nudo7 | 1 |
| 11 | Nudo8 | 3 |
| 12 | Nudo39 | 1 |
| 13 | NudoD7 | 1 |
| 14 | NudoD51 | 1 |
| 15 | Nudo17 | 2 |
| | | 20 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 7. Sector 2 San Rafael parte 1.

| SECTOR 2: | | Hidrantes |
|-----------|---------|-----------|
| 1 | NudoD5 | 1 |
| 2 | Nudo36 | 2 |
| 3 | Nudo33 | 2 |
| 4 | NudoD20 | 1 |
| 5 | NudoD23 | 1 |
| 6 | NudoD25 | 1 |
| 7 | NudoD36 | 2 |
| 8 | Nudo62 | 2 |
| 9 | NudoD69 | 3 |
| 10 | NudoD59 | 1 |
| 11 | NudoD54 | 1 |
| 12 | NudoD52 | 1 |
| 13 | NudoD46 | 1 |
| 14 | NudoD74 | 1 |
| 15 | NudoD9 | 1 |
| 16 | NudoD11 | 1 |
| 17 | NudoD13 | 2 |
| 18 | NudoD77 | 1 |
| 19 | NudoD78 | 1 |
| 20 | NudoD79 | 1 |
| 21 | NudoD16 | 3 |
| 22 | NudoD53 | 1 |
| 23 | NudoD30 | 2 |
| 24 | NudoD31 | 2 |
| 25 | NudoD63 | 3 |
| 26 | NudoD64 | 1 |
| 27 | Nudo45 | 1 |
| 28 | NudoD27 | 1 |
| 29 | Nudo3 | 1 |
| 30 | Nudo24 | 1 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 8. Sector 2 San Rafael parte 2.

| SECTOR 2: | | Hidrantes |
|-----------|---------|-----------|
| 31 | Nudo28 | 1 |
| 32 | Nudo23 | 1 |
| 33 | Nudo20 | 1 |
| 34 | Nudo21 | 1 |
| 35 | Nudo44 | 2 |
| 36 | Nudo49 | 1 |
| 37 | Nudo52 | 1 |
| 38 | Nudo60 | 1 |
| 39 | Nudo59 | 1 |
| 40 | NudoD83 | 4 |
| 41 | NudoD82 | 1 |
| 42 | NudoD86 | 2 |
| 43 | NudoD87 | 1 |
| 44 | NudoD45 | 1 |
| 45 | NudoD38 | 1 |
| 46 | NudoD50 | 1 |
| 47 | NudoD73 | 1 |
| 48 | NudoD3 | 1 |
| 49 | NudoD4 | 2 |
| 50 | NudoD8 | 1 |
| 51 | NudoD85 | 1 |
| 52 | Nudo15 | 1 |
| 53 | Nudo16 | 1 |
| 54 | Nudo18 | 1 |
| 55 | Nudo19 | 1 |
| 56 | Nudo53 | 1 |
| 57 | NudoD84 | 1 |
| | | 33 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 9. Sector 3 San Rafael.

| SECTOR 3: | | Hidrantes |
|-----------|---------|-----------|
| 1 | NudoD42 | 3 |
| 2 | NudoD10 | 1 |
| 3 | NudoD17 | 1 |
| 4 | NudoD55 | 1 |
| 5 | NudoD56 | 1 |
| 6 | Nudo29 | 2 |
| 7 | Nudo30 | 2 |
| 8 | Nudo22 | 1 |
| 9 | Nudo56 | 1 |
| 10 | Nudo61 | 2 |
| 11 | Nudo55 | 1 |
| 12 | NudoD41 | 1 |
| 13 | NudoD75 | 2 |
| 14 | NudoD33 | 2 |
| 15 | NudoD34 | 2 |
| 16 | Nudo27 | 2 |
| 17 | Nudo26 | 1 |
| 18 | NudoD22 | 1 |
| 19 | NudoD24 | 2 |
| | | 29 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tuncarta:

Tabla 10. Sector 1 Tuncarta.

| SECTOR 1: | | Hidrantes |
|-----------|-----|-----------|
| 1 | PR1 | 1 |
| 2 | PR2 | 1 |
| 3 | PQ3 | 2 |
| 4 | PA1 | 1 |
| 5 | PE4 | 2 |
| 6 | PJ3 | 2 |
| 7 | PQ4 | 1 |
| 8 | PQ5 | 1 |
| | | 11 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 11. Sector 2 Tuncarta parte 1.

| SECTOR 2: | | Hidrantes |
|-----------|------|-----------|
| 1 | PO2 | 2 |
| 2 | PO3 | 1 |
| 3 | PO4 | 1 |
| 4 | PO5 | 2 |
| 5 | PR3 | 1 |
| 6 | PR4 | 1 |
| 7 | PS1 | 1 |
| 8 | PT1 | 1 |
| 9 | PT2 | 1 |
| 10 | PU1 | 1 |
| 11 | PU2 | 1 |
| 12 | PS2 | 2 |
| 13 | PS3 | 1 |
| 14 | PS4 | 1 |
| 15 | PS11 | 1 |
| 16 | PX1 | 2 |
| 17 | PB'1 | 1 |
| 18 | PF'1 | 2 |
| 19 | PA2 | 1 |
| 20 | PA3 | 1 |
| 21 | P6 | 1 |
| 22 | P7 | 1 |
| 23 | P8 | 1 |
| 24 | PB4 | 1 |
| 25 | PC2 | 2 |
| 26 | P10 | 1 |
| 27 | PD1 | 2 |
| 28 | PD2 | 1 |
| 29 | PD3 | 2 |
| 30 | PD4 | 2 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 12. Sector 2 Tuncarta parte 2.

| SECTOR 2: | | Hidrantes |
|-----------|-----|-----------|
| 31 | P11 | 1 |
| 32 | PE5 | 2 |
| 33 | P13 | 1 |
| 34 | PF1 | 2 |
| 35 | PF4 | 2 |
| 36 | P15 | 1 |
| 37 | P16 | 1 |
| 38 | PG1 | 1 |
| 39 | PG3 | 2 |
| 40 | PG4 | 2 |
| 41 | PH2 | 3 |
| 42 | PH3 | 1 |
| 43 | PI1 | 2 |
| 44 | PI2 | 1 |
| 45 | PI3 | 2 |
| 46 | P23 | 2 |
| 47 | PJ4 | 2 |
| 48 | PJ5 | 2 |
| 49 | P26 | 1 |
| 50 | PK1 | 1 |
| 51 | PK2 | 1 |
| 52 | PK3 | 2 |
| 53 | PK4 | 2 |
| 54 | P28 | 2 |
| 55 | PL4 | 2 |
| 56 | PQ6 | 1 |
| 57 | PP1 | 2 |
| 58 | P12 | 1 |
| | | 84 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 13. Sector 3 Tuncarta parte 1.

| SECTOR 3: | | Hidrantes |
|-----------|------|-----------|
| 1 | PP3 | 2 |
| 2 | PP4 | 1 |
| 3 | PP5 | 1 |
| 4 | PO6 | 1 |
| 5 | PO7 | 1 |
| 6 | PQ1 | 2 |
| 7 | PQ2 | 2 |
| 8 | PR5 | 2 |
| 9 | PV1 | 1 |
| 10 | PS5 | 1 |
| 11 | PS6 | 1 |
| 12 | PS7 | 1 |
| 13 | PS8 | 1 |
| 14 | PS9 | 1 |
| 15 | PS10 | 1 |
| 16 | PX2 | 1 |
| 17 | PW1 | 1 |
| 18 | PY1 | 1 |
| 19 | PZ1 | 1 |
| 20 | PZ2 | 1 |
| 21 | PA'1 | 1 |
| 22 | PB'2 | 2 |
| 23 | PC'1 | 2 |
| 24 | PD'2 | 1 |
| 25 | PE'1 | 1 |
| 26 | PG'1 | 1 |
| 27 | PH'1 | 2 |
| 28 | PI'1 | 1 |
| 29 | PJ'1 | 1 |
| 30 | PA4 | 1 |
| 31 | PA5 | 1 |
| 32 | PB1 | 1 |
| 33 | PB2 | 1 |
| 34 | PB3 | 1 |
| 35 | PB5 | 1 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 14. Sector 3 Tuncarta parte 2.

| SECTOR 3: | | Hidrantes |
|-----------|-------|-----------|
| 36 | PC1 | 1 |
| 37 | PC3 | 2 |
| 38 | PC4 | 2 |
| 39 | PD5 | 2 |
| 40 | PE1 | 2 |
| 41 | PE2 | 1 |
| 42 | PE3 | 1 |
| 43 | PE6 | 2 |
| 44 | PF2 | 2 |
| 45 | PF3 | 1 |
| 46 | PF5 | 2 |
| 47 | PG2 | 1 |
| 48 | PG5 | 2 |
| 49 | P17 | 1 |
| 50 | PH1 | 3 |
| 51 | PH4 | 1 |
| 52 | PH5 | 2 |
| 53 | P18 | 1 |
| 54 | Ob1 | 2 |
| 55 | PI4 | 1 |
| 56 | PJ1 | 2 |
| 57 | PJ2 | 2 |
| 58 | P27 | 1 |
| 59 | PL1 | 1 |
| 60 | PL2 | 2 |
| 61 | PL3 | 2 |
| 62 | P29 | 2 |
| 63 | P30 | 1 |
| 64 | P31 | 1 |
| 65 | PM1 | 1 |
| 66 | PM2 | 2 |
| 67 | PM3 | 2 |
| 68 | PN2 | 2 |
| 69 | PAUX1 | 1 |
| 70 | PN1 | 2 |
| 71 | PD'1 | 1 |
| | | 99 |

Fuente: Córdoba, 2015.

4.4. Análisis de redes por turnos

Los diseños para la red a turnos con una distribución convencional de los nudos de consumo, constan en el Anexo – F. Con los resultados de la sectorización se realiza la red con otro diseño por turnos, aquí se obtiene una distribución equitativa de los sectores para cada turno, entonces se calculó los diámetros para las tuberías obteniendo una reducción de diámetros en la red, su diseño consta en el Anexo – G.

Las Figuras 30 y 31 nos muestran como están distribuidos los nudos en toda la red, la leyenda ubicada en la parte superior corresponde a los rangos de cada sector, es así que el color azul es en 1, el turquesa es el 2 y el verde es el 3, como se puede apreciar en ninguno de los dos sistemas existe un número en amarillo, que significa que algún nudo esta fuera de los rangos establecidos.

Red San Rafael:

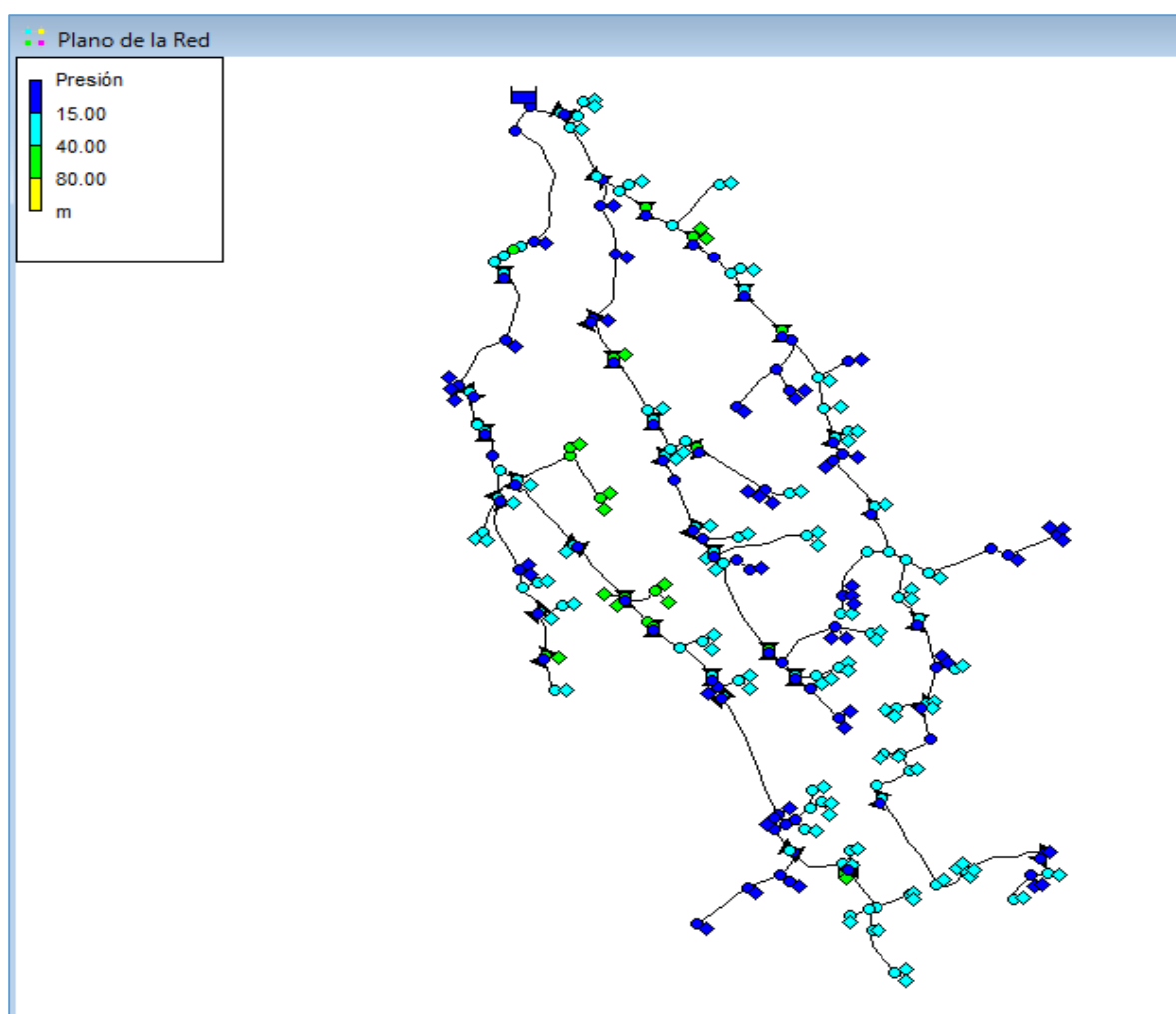


Figura 30. Turnos San Rafael.
Fuente: Córdova, 2015.

Red Tuncarta:

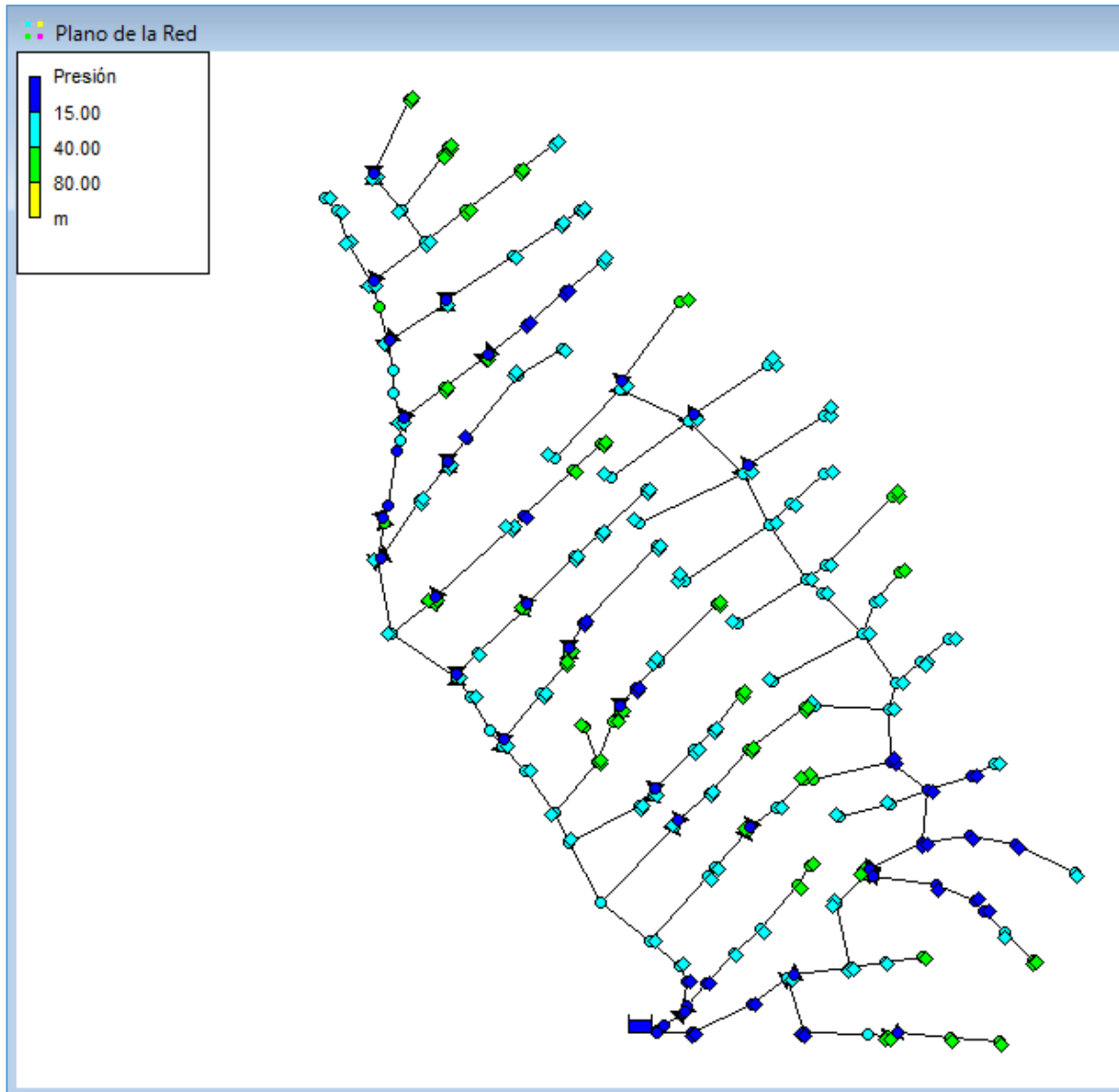


Figura 31. Turnos Tuncarta.
Fuente: Córdova, 2015.

4.5. Análisis económico de las redes

4.5.1. Aspersores

Se realizó una comparación global de costos; primero se contrastó los precios de los aspersores, eligiendo en función del caudal demandado y presiones de trabajo de nudos. Los aspersores seleccionados se muestran en el Anexo – H.

Se obtuvo la cantidad de rociadores por cada sector en el diseño a turnos y los aspersores para el diseño a la demanda, el resultado de los costos se muestran en las Tablas 15 y 16.

Tabla 15. Precios aspersores, San Rafael.

| Turnos | | Demanda |
|----------------|------------|----------------|
| San Rafael | Total (\$) | Total red (\$) |
| Sector 1 | 147.00 | 1962.50 |
| Sector 2 | 741.00 | |
| Sector 3 | 391.50 | |
| Total Red (\$) | 1279.50 | |

Fuente: Córdova, 2015.

Tabla 16. Precios aspersores, Tuncarta.

| Turnos | | Demanda |
|----------------|------------|----------------|
| Tuncarta | Total (\$) | Total Red (\$) |
| Sector 1 | 80.85 | 3045.80 |
| Sector 2 | 819.00 | |
| Sector 3 | 1336.50 | |
| Total Red (\$) | 2236.35 | |

Fuente: Córdova, 2015.

Ya obtenidos los precios por cada red y por cada tipo de diseño, se comparan los costos de los aspersores en las redes:

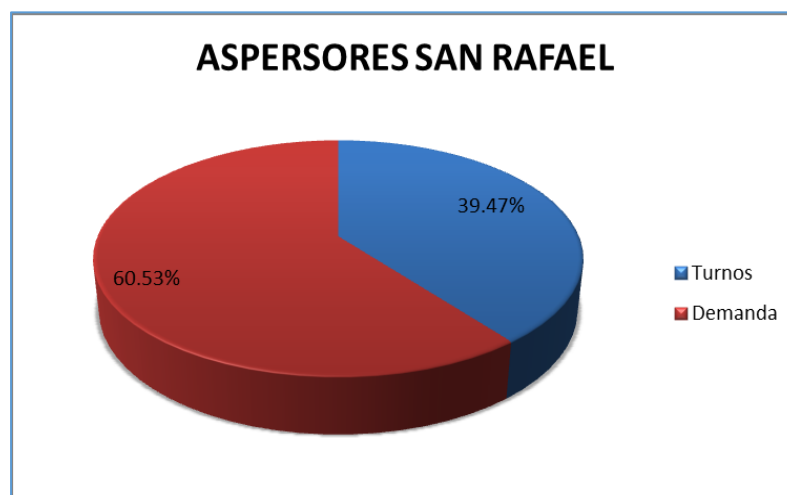


Figura 32. Precios turnos vs demanda San Rafael.
Fuente: Córdova, 2015.

En la Tabla 15 se observa que en la red San Rafael se ha usado un total de \$1962.50 y \$1279.50 en aspersores para la demanda y turnos respectivamente; se define que el costo la red por turnos representa un 65.20% a la red a la demanda, y por consecuencia un ahorro del 34.80%, representando un tercio del precio a la demanda.

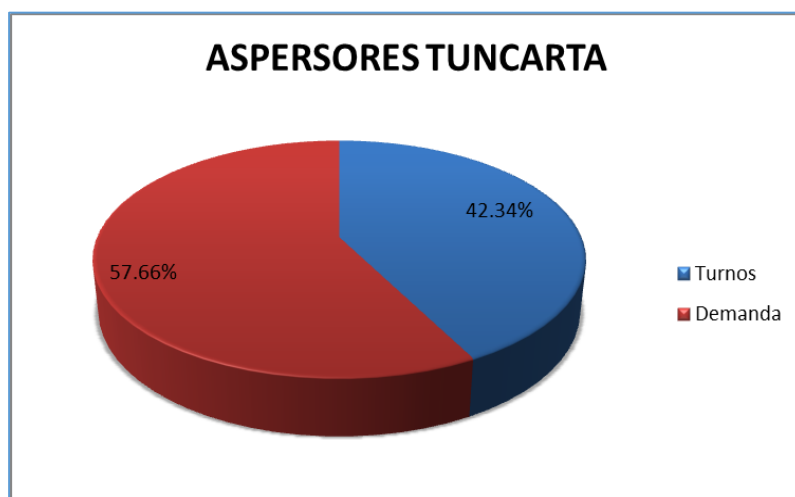


Figura 33. Precios turnos vs demanda Tuncarta.
Fuente: Córdova, 2015.

En la Tabla 16, la red Tuncarta asciende a una inversión de \$3045.80 en aspersores y \$2236.35 para la demanda y turnos respectivamente; se define que la red por turnos representa un 73.42% de la red a la demanda, y por efecto un ahorro del 26.58%, que significa más de un cuarto del precio a la demanda.

4.5.2. Tuberías

En lo que respecta a la tubería, para los diferentes diámetros se obtuvo su longitud en cada diseño, se puede observar su resumen en la Tabla 18 y 19. Luego se acumula su longitud dependiendo del ramal de las redes y se obtiene el valor de la tubería, los valores comerciales de las tuberías son los mostrados en la Tabla 17.

Tabla 17. Características y precios comerciales de tuberías.

| Diámetro Nominal (mm) | Diámetro Interior | Espesor Nominal | Presión de Trabajo | Precio |
|--------------------------|-------------------|-----------------|--------------------|--------|
| | mm | mm | Mpa | \$x6m |
| 20 | 17.60 | 1.20 | 1.25 | 2.08 |
| 25 | 22.40 | 1.30 | 1.25 | 2.80 |
| 32 | 29.00 | 1.50 | 1.25 | 4.87 |
| 40 | 36.20 | 1.90 | 1.25 | 7.26 |
| 50 | 45.20 | 2.40 | 1.25 | 11.13 |
| 63 | 57.00 | 3.00 | 1.25 | 17.43 |
| 75 | 69.20 | 2.90 | 1.25 | 25.04 |
| 90 | 81.40 | 4.30 | 1.25 | 35.28 |
| 110 | 99.60 | 5.20 | 1.25 | 52.09 |
| 125 | 113.00 | 6.00 | 1.25 | 54.70 |
| 140 | 126.60 | 6.70 | 1.25 | 58.60 |
| 160 | 144.80 | 7.60 | 1.25 | 111.02 |
| 200 | 181.00 | 9.50 | 1.25 | 173.12 |

Fuente: Tigre SA, 2015.

Entonces se organizaron en tablas, los precios por cada diámetro de tubería utilizado, para comparar los precios entre los tipos de diseños, las tablas se observan a continuación.

San Rafael:

Tabla 18. Comparación de costos, San Rafael.

| Diámetro (mm) | Precio (\$xm) | Longitud (m) | | | Precio (\$) | | |
|---------------|---------------|--------------|---------|---------------|-------------|----------|---------------|
| | | Demanda | Turnos | Sectorización | Demanda | Turnos | Sectorización |
| 20 | 0.42 | 1462.10 | 2620.20 | 1641.60 | 609.21 | 1091.75 | 684.00 |
| 25 | 0.47 | 2241.40 | 489.20 | 1629.00 | 1045.99 | 228.29 | 760.20 |
| 32 | 0.81 | 3616.40 | 4025.20 | 3998.10 | 2935.31 | 3267.12 | 3245.12 |
| 40 | 1.21 | 1271.70 | 2226.50 | 2640.20 | 1538.76 | 2694.07 | 3194.64 |
| 50 | 1.86 | 1493.30 | 1734.60 | 1555.10 | 2770.07 | 3217.68 | 2884.71 |
| 63 | 2.91 | 2165.80 | 703.30 | 1923.20 | 6291.65 | 2043.09 | 5586.90 |
| 75 | 4.17 | 2615.90 | 3842.80 | 3055.00 | 10917.02 | 16037.29 | 12749.53 |
| 90 | 5.88 | 2085.60 | 1688.10 | 4858.30 | 12263.33 | 9926.03 | 28566.80 |
| 110 | 8.68 | 3405.50 | 4237.90 | 267.30 | 29565.42 | 36792.04 | 2320.61 |
| 125 | 9.12 | 541.70 | 0.00 | 0.00 | 4938.50 | 0.00 | 0.00 |
| 140 | 9.77 | 541.70 | 0.00 | 0.00 | 5290.60 | 0.00 | 0.00 |
| | | Total (\$) | | | 78165.85 | 75297.35 | 59992.52 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tuncarta:

Tabla 19. Comparación de costos, Tuncarta.

| Diámetro (mm) | Precio (\$xm) | Longitud (m) | | | Precio (\$) | | |
|---------------|---------------|--------------|---------|---------------|-------------|----------|---------------|
| | | Demanda | Turnos | Sectorización | Demanda | Turnos | Sectorización |
| 20 | 0.42 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 25 | 0.47 | 2530.24 | 2601.45 | 2601.45 | 1180.78 | 1214.01 | 1214.01 |
| 32 | 0.81 | 2494.44 | 3685.60 | 3977.50 | 2024.65 | 2991.48 | 3228.40 |
| 40 | 1.21 | 2288.48 | 2531.90 | 2872.27 | 2769.06 | 3063.60 | 3475.45 |
| 50 | 1.86 | 1707.23 | 1571.02 | 1495.28 | 3166.91 | 2914.24 | 2773.74 |
| 63 | 2.91 | 1927.98 | 907.40 | 350.87 | 5600.78 | 2636.00 | 1019.28 |
| 75 | 4.17 | 349.00 | 130.20 | 423.82 | 1456.49 | 543.37 | 1768.74 |
| 90 | 5.88 | 543.33 | 687.51 | 1156.42 | 3194.78 | 4042.56 | 6799.75 |
| 110 | 8.68 | 524.01 | 353.33 | 1310.98 | 4549.28 | 3067.49 | 11381.49 |
| 125 | 9.12 | 742.87 | 893.07 | 324.89 | 6772.50 | 8141.82 | 2961.91 |
| 140 | 9.77 | 747.79 | 493.89 | 279.88 | 7303.42 | 4823.66 | 2733.49 |
| 160 | 18.50 | 399.81 | 399.81 | 0.00 | 7397.82 | 7397.82 | 0.00 |
| 200 | 28.85 | 538.18 | 538.18 | 0.00 | 15528.29 | 15528.29 | 0.00 |
| | | Total (\$) | | | 60944.76 | 56364.33 | 37356.27 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Se observa en la Figura 34, que la red San Rafael diseñada a la demanda representa un mayor recurso económico, seguido de un diseño por turnos donde los nudos fueron distribuidos por ramales, pero la herramienta innovadora de la sectorización para satisfacer la misma necesidad lo hace con un menor coste, se genera un ahorro del 23.25% con respecto del diseño a la demanda y un 20.33% refiriéndose a la red a turnos.

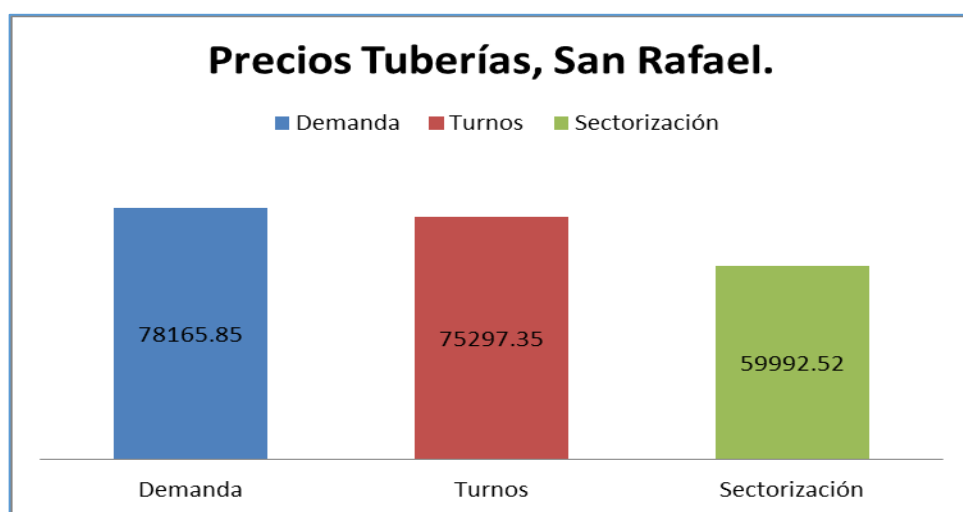


Figura 34. Precios (\$) San Rafael demanda vs turnos.
Fuente: Córdoba, 2015.

En la red Tuncarta (Figura 35) pasa lo mismo, aquí se tiene el ahorro más grande que corresponde al 38.70% a referencia de la red a la demanda y un 33.72% a la de turnos, esto se debe a que los caudales que pasan por las líneas se han ajustado de una mejor manera al producir una sectorización y su posterior distribución por turnos.

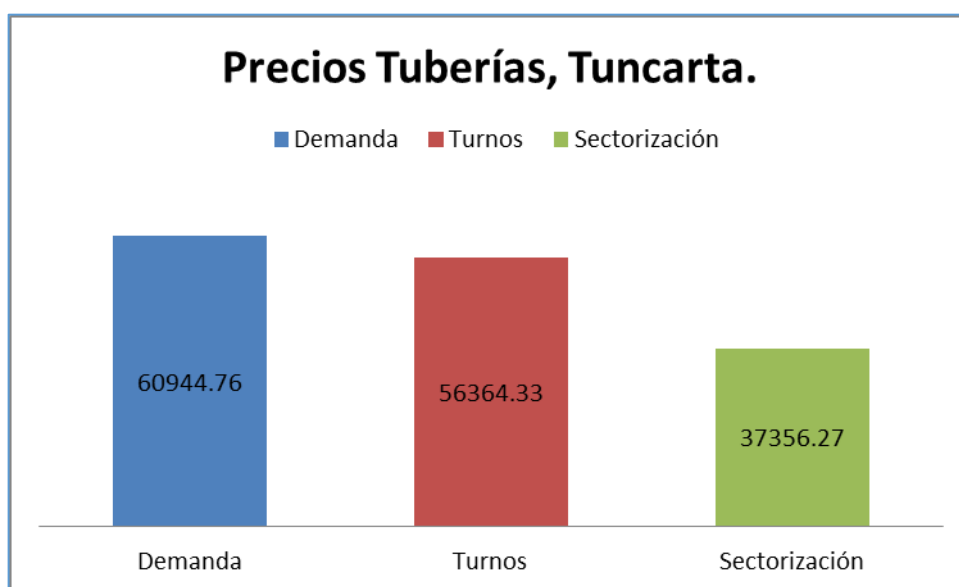


Figura 35. Precios (\$) Tuncarta demanda vs turnos.
Fuente: Córdova, 2015.

En la red de San Rafael los diámetros con demanda llegan hasta 140mm y con turnos y sectorización solo hasta 110mm. En la Figura 36 se analiza las longitudes que abarcan los cuatro mayores diámetros en la red, en sectorización el diámetro de 90mm tiene gran longitud y es el que predomina sobre los diámetros soportando caudales grandes con diámetros económicos, pero en la red a turnos y demanda el diámetro de 110mm tiene gran longitud en la red, lo que representa mayores costos.

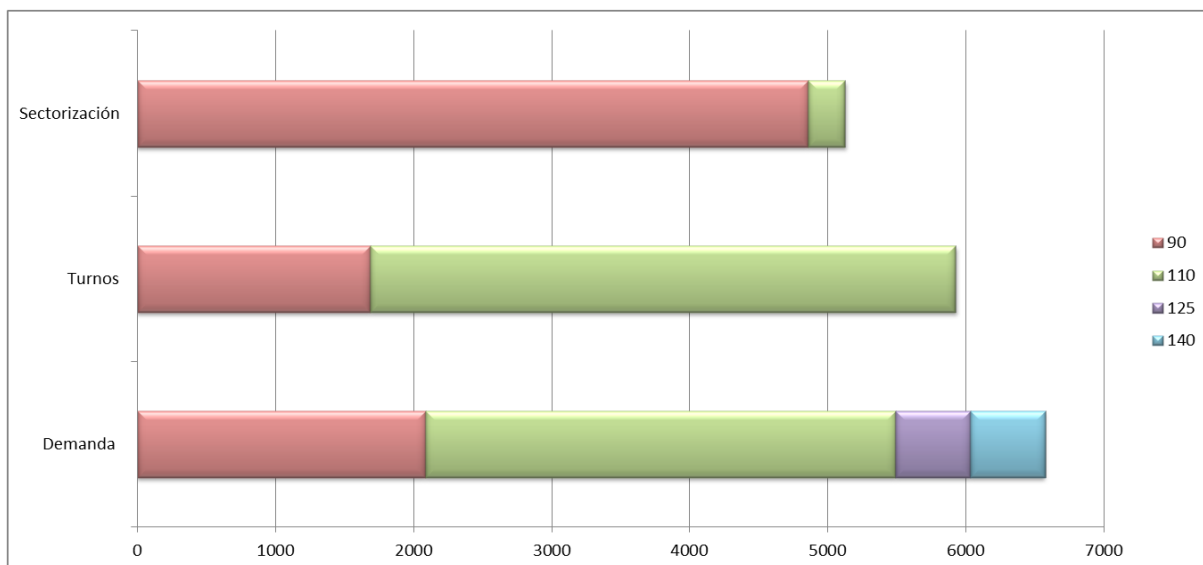


Figura 36. Cuatro mayores diámetros, San Rafael (longitud de tubería (m) vs tipo diseño).
Fuente: Córdoba, 2015.

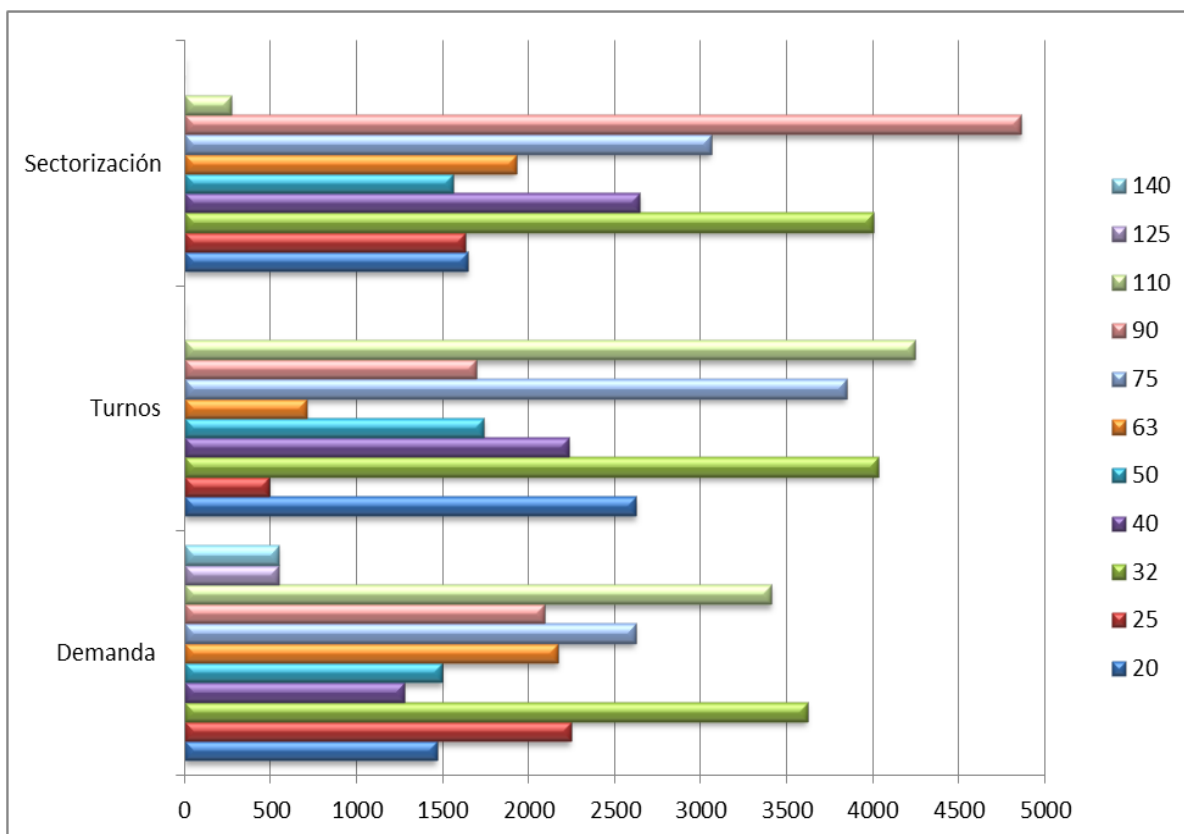


Figura 37. Distribución de diámetros por diseño. S. Rafael (longitud de tubería (m) vs t. diseño).
Fuente: Córdoba, 2015.

En la red de Tuncarta se tiene diámetros hasta los 200 mm en el diseño a la demanda y por turnos, pero con la aplicación de la sectorización solo se utiliza hasta diámetros de 140 mm. En la Figura 38 se toma en cuenta que el diseño a turnos y a la demanda, los diámetros son distribuidos de una manera casi simétrica en longitud en los seis mayores diámetros de la

red, pero en sectorización, ni siquiera se utiliza los dos últimos diámetros de tuberías y los diámetros medios de 90 mm y 110 mm son los que constituyen una gran longitud de tubería, haciendo que la red demande menores costos en tuberías.

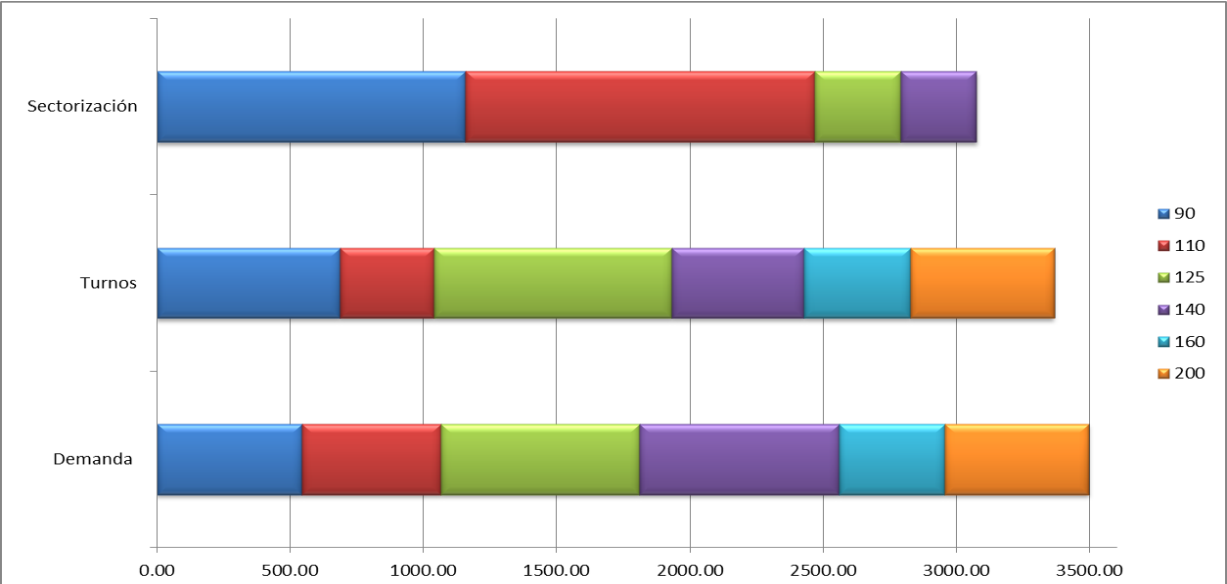


Figura 38. Seis mayores diámetros, Tuncarta (longitud de tubería (m) vs tipo diseño).
Fuente: Córdoba, 2015.

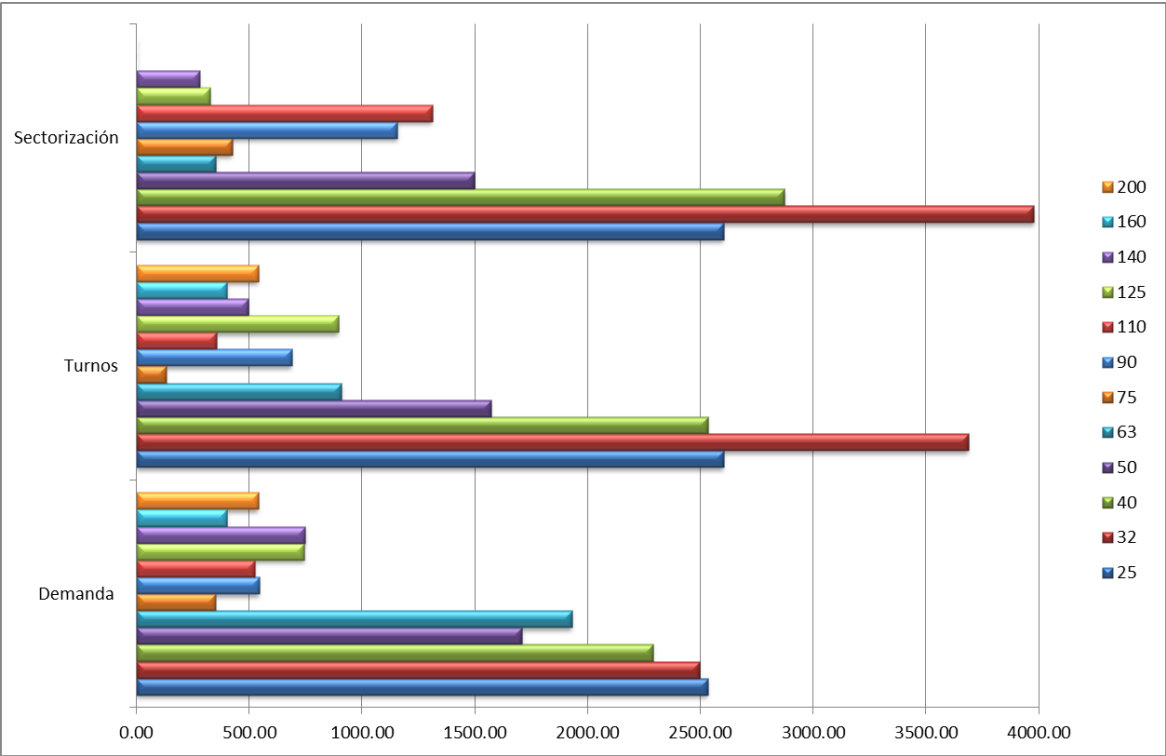


Figura 39. Distribución de diámetros por diseño, San Rafael (longitud de tubería (m) vs t. diseño)
Fuente: Córdoba, 2015.

CONCLUSIONES

- No solo la precipitación influye en la demanda de agua de los cultivos sino también afectan otros factores como temperatura, viento, horas de insolación, humedad entre otros factores, es por ello que se debe hacer un análisis completo donde intervengan todos estos elementos, y así obtener una demanda de agua correcta del cultivo.
- El diseño a la demanda por el primer modelo de Clement reduce el caudal final que pasa por la tubería que suministra a todo el sistema en comparación con una red que tenga todos sus hidrantes abiertos al mismo tiempo, porque trabaja con probabilidades de que se encuentren nudos aportando caudal.
- Al generar la red por turnos se debe tomar en cuenta los caudales que pasan por cada tubería en los diferentes turnos, y utilizar el caudal mayor para el cálculo del diámetro, así establecer que las propiedades hidráulicas no se encuentren fuera de los rangos permitidos para todos los turnos y que transporte el gasto sin ningún problema durante todo el tiempo que el sistema esté trabajando.
- La red Tuncarta diseñada a turnos nos beneficia en reducción de costos en un 7.51%, ya que los caudales disminuyen a diferentes horarios, pero si se aplica sectorización de los nudos por presión, se potencia considerablemente el ahorro en 38.70% del costo de tuberías, aspersores y fundamentalmente en la energía que consume una bomba que se ubica estratégicamente para cumplir presiones requeridas por los aspersores en los sistemas de riego.
- Cuando se aplica sectorización y se hace una selección de los aspersores por diferentes niveles de energía, no es necesario obtener presiones muy grandes para que el aspersor funcione de una manera correcta, ya que la carga que llega al nudo es suficiente para su trabajo y emisión del caudal necesario
- La ofimática dentro de la hidráulica es muy importante, y automatizando un desarrollador como Toolkit, es un aporte importante para que el usuario lo trabaje con cualquier tipo de red, y obtenga resultados rápidos, preestableciendo sectores que benefician al funcionamiento, control y economía del sistema.
- La sectorización y selección de aspersores para cada sección, reduce el aporte económico en 34.80% y 26.58% para San Rafael y Tuncarta respectivamente en comparación con el costo de aspersores que genera la red a la demanda

- El ahorro que se genera en las tuberías por utilizar la ofimática con respecto a las redes diseñadas a la demanda son de 23.25% y 38.70% para San Rafael y Tuncarta.
- La disminución de costos en las tuberías con la implementación de Toolkit es de 20.33% y 33.72% respectivamente para San Rafael y Tuncarta, en comparación con el diseño por turnos convencional, ya que en sectorización se distribuye los nudos a los turnos de una manera selectiva por niveles de presión.
- La red San Rafael, controla los caudales a la demanda con un diámetro máximo de 140 mm, en cambio en sectorización y turnos con 110 mm, aunque en sectorización este represente poca longitud en comparación con la gran longitud de tubería 90 mm.
- La Red Tuncarta a la demanda y a turnos tiene un diámetro máximo de 200 mm, pero en sectorización su mayor diámetro es 140 mm, lo que nos demuestra que existe mayor ahorro utilizando la sectorización en redes.

RECOMENDACIONES

- Se debe tener muy en cuenta la temporada en que se va a sembrar, porque el caudal que demanda el cultivo depende exclusivamente de las condiciones del ambiente, de su necesidad de agua, y las condiciones varían a medida de que fecha se siembra.
- Continuar con la investigación de métodos y herramientas que beneficien la reducción de coste de los sistemas de distribución de agua, no dejando de lado la eficiencia y garantía que brinden las redes, ya que las buenas prácticas y buen uso del agua permite un presente y un futuro sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

- Aberiego. 2012. Válvulas. Recuperado de: <http://www.aberiego.cl/index.php?op=valvulas>.
- Asociación del Riego Sostenible. 2015. Riego por turnos. Recuperado de: <http://www.riego.org/glosario/riego-por-turnos/>.
- Bartolín H. 2013. Confección de modelos de redes de distribución de agua desde un Sig y desarrollo de herramientas de apoyo a la toma de decisiones. Universitat Politècnica de València
- Di Nardo A, Di Natale M, Guida M y Musmarra D, 2012. Water network protection from intentional contamination by sectorization. Water Resour Manage.
- El Jardín. 2015. Riego por goteo. Recuperado de: <http://www.eljardin.ws/blog/riego-por-goteo>.
- Epanet. 2012. Programación con el Toolkit. Recuperado de: <http://epanet.info/programacion-con-el-toolkit/>
- Falkenmark M. 2010. The Greatest Water Problem: The Inability to Link Environmental Security, Water Security and Food Security. International Journal of Water Resources Development.
- FAO. 2009. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje.
- GAD, San Andrés. 2012. Gobierno Autónomo Descentralizado Rural de San Andrés, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Guano.
- Grupo Aguas de Valencia. 2014. Epanet. Recuperado de: <https://www.aguasdevalencia.es/portal/web/Tecnologia/Tecnologia/SistemasRedes/Epanet.html>

- Gurovich L. 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. San José. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Gutiérrez J, Herrera M, Pérez-García R, Ramos-Martínez O. 2011. Application of graph-spectral methods in the vulnerability assessment of water supply networks. Mathematical and Computer Modelling.
- Jacobs P y Goulter I. 1989. Optimization of redundancy in water distribution networks using graph theoretic principles. Engineering Optimization.
- Kanakis P, Papamichail D y Georgiou P. 2014. Performance analysis of on-demand pressurized irrigation network designed with linear and fuzzy linear programming. Irrigation and Drain.
- Kessler A, Ormsbee L y Shamir U. 2007. A methodology for least-cost design of invulnerable water distribution networks. Civil Engineering Systems.
- Lamaddalena Nicola. 2007. Pressure-driven modeling for performance analysis of irrigation systems operating on demand. Agricultural water management.
- Martínez S, Escolero O y Kralish S. 2010. Water Management in San Luis Potosí Metropolitan Area, Mexico. International Journal of Water Resources Development
- Morrison J, Hasnip N, Mandal S, Pradhan P y Smith L. 2004. Contribution of Irrigation to Sustaining Rural Livelihoods. HR Wallingford.
- Moya J. 2009. Riego Localizado y Fertirrigación. Madrid. Ediciones Mindi - Prensa.
- Naandanjain. 2011. Catálogo de aspersores. Naandanjain Irrigation.
- Pérez, Lamaddalena y Urrestarazu. 2009. Quality of service in irrigation distribution networks: case of Palos de la Frontera irrigation district (Spain). Journal of irrigation and drainage engineering.
- Plastigama SA. 2014. Línea de aspersión, uso agrícola. Senninger Irrigation Inc.

- Publicar SA. 2014. Línea de Tuberías y Accesorios. Recuperado de: <http://www.tecnivalvulas.com/linea-de-tuberias-y-accesorios/>.
- Riofrío J, Sánchez L, Cosme M, Guerrero V, Sarango N y Moreno V. 2015. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Saraguro. Saraguro.
- Rodríguez Díaz, Weatherhead E, Knox J, Camacho E. 2007. Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. Regional Environmental Change.
- Tigre SA. 2015. Catálogo de tubería para riego. Grupo Tigre.
- Valverde J. 2007. Riego y drenaje. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Vegas O. 2012. Herramientas de ayuda a la sectorización de redes de abastecimiento de agua basadas en la teoría de grafos aplicando distintos criterios. Valencia: UPV.
- VIRSA. 2011. Accesorios de Riego Agrícola. Recuperado de: <http://www.vyrsa.com/catalogo/agricultura/accesorios-riego-agricola.aspx>.
- Yazdani A y Jeffrey P. 2011. Complex network analysis of water distribution systems. Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science.

ANEXOS

Anexo A – Datos extraídos del INAMHI

Tabla 20. Estación Cotopaxi – Clirsén.

| RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS | |
|----------------------------------|------------------|
| Cantón | Latacunga |
| Elevación | 3510 msnm |
| Fecha-Instalación | 20-abr-99 |
| Latitud | 003724-S |
| Longitud | 783453-W |
| Parroquia | Clirsén |
| Reubicación | 20-abr-99 |
| Código | M120 |
| Nombre | COTOPAXI-CLIRSEN |
| Tipo | CO |
| Provincia | COTOPAXI |
| Estado | FUNCIONANDO |

Fuente: INAMHI, 2010.

Tabla 21. Estación Saraguro.

| RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS | |
|----------------------------------|-------------|
| Cantón | Saraguro |
| Elevación | 2525 msnm |
| Fecha-Instalación | 01-jun-63 |
| Latitud | 033643-S |
| Longitud | 791402-W |
| Parroquia | |
| Reubicación | |
| Código | M142 |
| Nombre | SARAGURO |
| Tipo | CO |
| Provincia | LOJA |
| Estado | FUNCIONANDO |

Fuente: INAMHI, 2010

Tabla 22. Datos de Clima, estación Cotopaxi – Clirsen.

| M120 | | COTOPAXI-CLIRSEN | | | | | | | | | | | | | | INAMHI | | | | |
|-------------|-----------------------|--------------------------------------|-----|--------|-----|--------|--------|---------|----------------------|-----|--------|------|-----------|---------------------------|------------------------------|--------------------|------|----|--|--|
| MES | HELIOFANIA (HORAS) | TEMPERATURA DELAIRE A LA SOMBRA (°C) | | | | | | | HUMEDAD RELATIVA (%) | | | | | PUNTO DE ROCIO (°C) | TENSIÓN DE VAPOR (hPa) | PRECIPITACION (mm) | | | Número de días con precipitación | |
| | | ABSOLUTAS | | MEDIAS | | | | | | | | Suma | Máxima en | | | | | | | |
| | | Máxima | día | Mínima | día | Máxima | Mínima | Mensual | Máxima | día | Mínima | día | Media | Mensual | 24 hrs | día | | | | |
| ENERO | 219.0 | | | | | 15.2 | 4.6 | 9.4 | | | | | 98 | 9.2 | 11.9 | 41.8 | 17.2 | 25 | 9 | |
| FEBRERO | 204.0 | | | 4.1 | 1 | 15.0 | 5.2 | 9.7 | 100 | 1 | 92 | 11 | 98 | 9.5 | 12.0 | 129.4 | 19.4 | 9 | 16 | |
| MARZO | 210.0 | 17.5 | 1 | | | 14.8 | 4.6 | 9.3 | 100 | 1 | 83 | 13 | 98 | 8.9 | 11.6 | 117.9 | 19.1 | 10 | 20 | |
| ABRIL | 216.0 | | | 2.5 | 10 | 14.9 | 4.5 | 9.4 | 100 | 1 | 76 | 10 | 98 | 9.1 | 11.7 | 164.7 | 20.5 | 3 | 20 | |
| MAYO | 192.0 | | | | | 13.9 | 4.7 | 9.0 | | | | | 98 | 8.6 | 11.3 | 160.0 | | | | |
| JUNIO | 165.0 | | | | | 11.8 | 3.8 | 7.9 | 100 | 1 | 88 | 18 | 97 | 7.5 | 10.5 | 62.4 | 13.3 | 18 | 12 | |
| JULIO | 174.0 | | | | | 12.1 | 3.7 | 7.9 | | | | | 98 | 7.5 | 10.5 | 126.4 | 17.6 | 1 | 17 | |
| AGOSTO | 213.0 | | | | | 13.4 | 3.1 | 8.0 | 100 | 2 | 92 | 3 | 97 | 7.7 | 10.7 | 34.7 | 12.6 | 2 | 6 | |
| SEPTIEMBRE | 222.0 | | | | | 14.0 | 3.2 | 8.2 | 100 | 3 | 74 | 9 | 96 | 7.6 | 10.7 | 50.6 | 10.4 | 1 | 10 | |
| OCTUBRE | 258.0 | | | | | 18.0 | 3.4 | 8.2 | 100 | 8 | 90 | 11 | 95 | 7.7 | 10.8 | 59.6 | 14.0 | 27 | 10 | |
| NOVIEMBRE | 198.0 | | | | | 13.5 | 4.0 | 7.8 | 100 | 4 | 92 | 24 | 98 | 7.5 | 10.6 | 184.3 | 32.3 | 13 | 18 | |
| DICIEMBRE | 159.0 | | | 3.4 | 16 | 12.1 | 4.4 | 8.0 | 100 | 1 | 89 | 20 | 97 | 7.6 | 10.6 | 172.7 | 27.0 | 11 | 20 | |
| VALOR ANUAL | 913.8 | | | | | 13.7 | 4.1 | 8.6 | | | | | 97 | 8.2 | 11.1 | 1304.5 | | | | |

Fuente: INAMHI, 2010.

Tabla 23. Datos de Clima, estación Saraguro.

| M142 | | SARAGURO | | | | | | | | | | | | INAMHI | | | | |
|-------------|-----------------------|---------------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|----------------------|--------|-----|--------|-----|---------------------------|------------------------------|--------------------|-----------|----|--|
| MES | HELIOFANIA (HORAS) | TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C) | | | | | | HUMEDAD RELATIVA (%) | | | | | PUNTO DE ROCÍO (°C) | TENSIÓN DE VAPOR (hPa) | PRECIPITACION (mm) | | | Número de días con precipitación |
| | | ABSOLUTAS | | | MEDIAS | | | | | | | | | | Suma | Máxima en | | |
| | | Máxima | día | Mínima | día | Máxima | Mínima | Mensual | Máxima | día | Mínima | día | Media | Mensual | 24 hrs | día | | |
| ENERO | 226.3 | 24.8 | 24 | 7.5 | 2 | 24.8 | 7.5 | 15.9 | | | | 97 | 15.4 | 17.8 | 29.8 | 6.5 | 11 | 15 |
| FEBRERO | 210.8 | 25.2 | 5 | 8.5 | 15 | 25.2 | 11.6 | 16.4 | | | | 96 | 15.8 | 18.2 | 111.3 | 34.0 | 24 | 27 |
| MARZO | 217.0 | | | | | 22.1 | 11.3 | 16.6 | | | | 96 | 16.0 | 18.4 | 56.4 | 17.8 | 31 | 24 |
| ABRIL | 223.2 | | | | | 22.5 | 10.3 | 16.4 | | | | 96 | 15.8 | 18.2 | 107.7 | | | |
| MAYO | 198.4 | 25.6 | 22 | 6.6 | 24 | 25.6 | 6.6 | 16.3 | | | | 95 | 15.5 | 18.0 | 91.9 | 25.5 | 2 | 22 |
| JUNIO | 170.5 | 22.6 | 1 | 1.5 | 6 | 22.6 | 1.5 | 15.2 | | | | 95 | 14.4 | 16.6 | 57.7 | 15.9 | 20 | 18 |
| JULIO | 179.8 | 24.2 | 21 | | | 24.2 | 8.7 | 15.1 | | | | 96 | 14.5 | 17.1 | 52.1 | 13.4 | 13 | 10 |
| AGOSTO | 220.1 | | | | | 20.7 | 7.6 | 14.5 | | | | 95 | 13.7 | 16.1 | 16.2 | | | |
| SEPTIEMBRE | 229.4 | 26.0 | 28 | 4.2 | 10 | 26.0 | 4.2 | 15.2 | | | | 95 | 14.4 | 17.1 | 29.1 | 9.8 | 1 | 8 |
| OCTUBRE | 229.4 | 27.0 | 31 | 4.5 | 6 | 27.0 | 4.5 | 15.6 | | | | 96 | 15.0 | 17.7 | 36.1 | 15.1 | 19 | 10 |
| NOVIEMBRE | 204.6 | 26.2 | 5 | 4.0 | 9 | 26.2 | 4.0 | 14.8 | | | | 96 | 14.2 | 16.9 | 63.2 | 17.7 | 13 | 16 |
| DICIEMBRE | 164.3 | | | | | 21.5 | 9.8 | 15.0 | | | | 97 | 14.5 | 16.9 | 112.5 | | | |
| VALOR ANUAL | 206.2 | | | | | 21.8 | 9.6 | 15.6 | | | | 95 | 14.9 | 17.4 | 764.0 | | | |

Fuente: INAMHI, 2010.

Tabla 24. Viento, estación Cotopaxi – Clirsén.

| MES | NUBOSIDAD MEDIA (Octas) | Vel. Mayor Observada | | VELOCIDAD MEDIA (Km/h) |
|-------------|-------------------------------|-------------------------|-----|------------------------------|
| | | (m/s) | DIR | |
| ENERO | 6 | 10.0 | N | 18.0 |
| FEBRERO | 7 | 12.0 | NW | 21.6 |
| MARZO | 7 | 8.0 | NE | 14.4 |
| ABRIL | 7 | 8.0 | N | 14.4 |
| MAYO | 7 | 12.0 | SW | 21.6 |
| JUNIO | 7 | 10.0 | N | 18.0 |
| JULIO | 6 | | | 21.6 |
| AGOSTO | 6 | 16.0 | NE | 28.8 |
| SEPTIEMBRE | 6 | 8.0 | SW | 14.4 |
| OCTUBRE | 6 | 10.0 | NW | 18.0 |
| NOVIEMBRE | 7 | 8.0 | SW | 14.4 |
| DICIEMBRE | 7 | 8.0 | N | 14.4 |
| VALOR ANUAL | 7 | | | 18.3 |

Fuente: INAMHI, 2010.

Tabla 25. Viento, estación Saraguro.

| MES | NUBOSIDAD MEDIA (Octas) | Vel. Mayor Observada | | VELOCIDAD MEDIA (Km/h) |
|-------------|-------------------------------|-------------------------|-----|------------------------------|
| | | (m/s) | DIR | |
| ENERO | 6 | 10.0 | N | 18.0 |
| FEBRERO | 7 | 12.0 | NW | 21.6 |
| MARZO | 7 | 8.0 | NE | 14.4 |
| ABRIL | 7 | 8.0 | N | 14.4 |
| MAYO | 6 | 12.0 | SW | 21.6 |
| JUNIO | 7 | 10.0 | N | 18.0 |
| JULIO | 5 | | | 21.6 |
| AGOSTO | 6 | 16.0 | NE | 28.8 |
| SEPTIEMBRE | 6 | 8.0 | SW | 14.4 |
| OCTUBRE | 6 | 10.0 | NW | 18.0 |
| NOVIEMBRE | 6 | 8.0 | SW | 14.4 |
| DICIEMBRE | 7 | 8.0 | N | 14.4 |
| VALOR ANUAL | 6 | | | 18.3 |

Fuente: INAMHI, 2010.

Tabla 26. Precipitación, San Rafael.

| VALORES PLUVIOMÉTRICOS MENSUALES (mm) SAN RAFAEL | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| CÓDIGO | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SEP. | OCT. | NOV. | DIC. | TOTAL ANUAL |
| M120 | 35.3 | 71.4 | 78.1 | 97 | 73.5 | 42.9 | 36 | 31.5 | 42.9 | 36 | 60.2 | 61.8 | 709.0 |

Fuente: INAMHI, 2010.

Tabla 27. Precipitación, Tuncarta.

| VALORES PLUVIOMÉTRICOS MENSUALES (mm) TUNCARTA | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------------|
| CÓDIGO | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SEP. | OCT. | NOV. | DIC. | TOTAL ANUAL |
| M432 | 29.8 | 111.3 | 56.4 | 107.7 | 91.9 | 57.7 | 52.1 | 16.2 | 29.1 | 36.1 | 63.2 | 112.5 | 764.0 |

Fuente: INAMHI, 2010.

Tabla 28. Valores de Kc, San Rafael.

| Cultivo | Kc ini | Kc med | Kc fin | Altura Máx. Cultivo (h) (m) |
|------------|--------|--------|------------|-----------------------------|
| Alfalta | 0.40 | 0.95 | 0.90 | 0.70 |
| Cereales | 0.30 | 0.15 | 0.40 | 1.00 |
| Cebolla | 0.55 | 0.95 | 0.75 | 0.50 |
| Hortalizas | 0.50 | 1.00 | 0.80 | 0.60 |
| Maiz | 0.40 | 1.20 | 0.60; 0.35 | 2.00 |
| Pastos | 0.30 | 0.75 | 0.75 | 0.10 |

Fuente: FAO, 2009.

Tabla 29. Valores de Kc, Tuncarta.

| Cultivo | Kc ini | Kc med | Kc fin | Altura Máx. Cultivo (h) (m) |
|------------|--------|--------|------------|-----------------------------|
| Alfalta | 0.40 | 0.95 | 0.90 | 0.70 |
| Cereales | 0.30 | 0.15 | 0.40 | 1.00 |
| Maiz | 0.40 | 1.20 | 0.60; 0.35 | 2.00 |
| Pastos | 0.30 | 0.75 | 0.75 | 0.10 |
| Hortalizas | 0.50 | 1.00 | 0.80 | 0.60 |

Fuente: FAO, 2009.

Tabla 30. Duración en días de etapas del cultivo, San Rafael.

| Cultivo | Inic. | Des. | Med. | Final | Total |
|------------|-------|------|------|-------|-------|
| Alfalta | 10 | 30 | 20 | 10 | 70 |
| Cereales | 15 | 30 | 70 | 35 | 150 |
| Cebolla | 15 | 28 | 78 | 35 | 156 |
| Hortalizas | 25 | 35 | 40 | 20 | 120 |
| Maiz | 40 | 65 | 80 | 50 | 235 |
| Pastos | 10 | 20 | 20 | 10 | 60 |

Fuente: FAO, 2009.

Tabla 31. Duración en días de etapas del cultivo, Tuncarta.

| Cultivo | Inic. | Des. | Med. | Final | Total |
|------------|-------|------|------|-------|-------|
| Alfalta | 10 | 30 | 20 | 10 | 70 |
| Cereales | 15 | 30 | 70 | 35 | 150 |
| Maiz | 40 | 65 | 80 | 50 | 235 |
| Pastos | 10 | 20 | 20 | 10 | 60 |
| Hortalizas | 25 | 35 | 40 | 20 | 120 |

Fuente: FAO, 2009.

Tabla 32. Profundidad radicular y agotamiento crítico para cultivos, San Rafael.

| Cultivo | Profundidad radicular máx (m) | Fracción de agotamiento (para ET=5mm día) p |
|------------|-------------------------------|---|
| Alfalta | 1.0 - 2.0 | 0.55 |
| Cereales | 1.0 - 1.5 | 0.60 |
| Cebolla | 0.3 - 0.6 | 0.30 |
| Hortalizas | 0.7 - 1.5 | 0.40 |
| Maiz | 1.0 - 1.7 | 0.55 |
| Pastos | 0.5 - 1.5 | 0.60 |

Fuente: FAO, 2009.

Tabla 33. Profundidad radicular y agotamiento crítico para cultivos, Tuncarta.

| Cultivo | Profundidad radicular máx (m) | Fracción de agotamiento (para ET=5mm día) p |
|------------|-------------------------------|---|
| Alfalta | 1.0 - 2.0 | 0.55 |
| Cereales | 1.0 - 1.5 | 0.60 |
| Maiz | 1.0 - 1.7 | 0.55 |
| Pastos | 0.5 - 1.5 | 0.60 |
| Hortalizas | 0.7 - 1.5 | 0.40 |

Fuente: FAO, 2009.

Tabla 34. Valores de Ky, San Rafael.

| Cultivo | Ky |
|------------|------|
| Alfalta | 1.00 |
| Cereales | 1.10 |
| Cebolla | 1.10 |
| Hortalizas | 1.05 |
| Maiz | 1.25 |
| Pastos | 1.00 |

Fuente: FAO, 2009.

Tabla 35. Valores de Ky, Tuncarta.

| Cultivo | Ky |
|------------|------|
| Alfalta | 1.10 |
| Cereales | 1.10 |
| Maiz | 1.25 |
| Pastos | 1.00 |
| Hortalizas | 1.05 |

Fuente: FAO, 2009.

Tabla 36. Humedad según tipo de suelo.

| | Textura | | | |
|---------|---|------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| | Suelos Gruesos | Suelos Moderadamente gruesos | Suelos Medianamente gruesos (Francos) | Suelos Finos |
| Humedad | 60 - 100 | 100 - 150 | 150 - 200 | 200 - 250 |
| | (mm de humedad disponible por metro de suelo) | | | |

Fuente: FAO, 2009.

Tabla 37. Características de suelo franco arenoso.

| Características físicas | Interpretación |
|-------------------------|----------------|
| Textura | Franco arenoso |
| Estructura | Suelta |
| Drenaje | Bien drenado |
| Topografía | Ondulado 12% |
| Densidad aparente (da) | 1.29 gr/cc |
| Capacidad de campo (cc) | 30.15% |
| Punto de marchitez (Pm) | 16.77% |
| Infiltración | 32 mm/h |

Fuente: FAO, 2009.

Anexo B – Software Cropwat 8.0 con datos para San Rafael.

País

Ecuador

Altitud

3510

m.

Latitud

0.30

°N

Estación

Cototopaxi-Clirsén

Longitud

78.30

°E

| Mes | Temp Min | Temp Max | Humedad | Viento | Insolación | Rad | ETo |
|------------|----------|----------|---------|--------|------------|-----------|--------|
| | °C | °C | % | m/s | horas | MJ/m²/día | mm/día |
| Enero | 4.6 | 15.2 | 98 | 5.0 | 7.3 | 20.0 | 2.36 |
| Febrero | 5.2 | 15.0 | 98 | 6.0 | 6.8 | 19.9 | 2.27 |
| Marzo | 4.6 | 14.8 | 98 | 4.0 | 7.0 | 20.5 | 2.56 |
| Abril | 4.5 | 14.9 | 98 | 4.0 | 7.2 | 20.2 | 2.51 |
| Mayo | 4.7 | 13.9 | 98 | 6.0 | 6.4 | 18.0 | 1.99 |
| Junio | 3.8 | 11.8 | 97 | 5.0 | 5.5 | 16.1 | 1.78 |
| Julio | 3.7 | 12.1 | 98 | 6.0 | 5.8 | 16.7 | 1.72 |
| Agosto | 3.1 | 13.4 | 97 | 8.0 | 7.1 | 19.5 | 1.96 |
| Septiembre | 3.2 | 14.0 | 96 | 4.0 | 7.4 | 20.8 | 2.53 |
| Octubre | 3.4 | 18.0 | 95 | 5.0 | 8.6 | 22.6 | 3.08 |
| Noviembre | 4.0 | 13.5 | 98 | 4.0 | 6.6 | 19.0 | 2.30 |
| Diciembre | 4.4 | 12.1 | 97 | 4.0 | 5.3 | 16.7 | 1.97 |
| Promedio | 4.1 | 14.1 | 97 | 5.1 | 6.8 | 19.2 | 2.25 |

Figura 40. Clima, San Rafael.

Fuente: Córdova, 2015.

| Estación | Cotopaxi - Clirsén | Método Prec. Ef | Fórmula FAO/AGLW |
|-------------------|--------------------|------------------------|------------------|
| | Precipit. | Prec. efec | |
| | mm | mm | |
| Enero | 35.3 | 11.2 | |
| Febrero | 71.4 | 33.1 | |
| Marzo | 78.4 | 38.7 | |
| Abril | 78.1 | 38.5 | |
| Mayo | 97.0 | 53.6 | |
| Junio | 73.5 | 34.8 | |
| Julio | 42.9 | 15.7 | |
| Agosto | 31.5 | 8.9 | |
| Septiembre | 42.9 | 15.7 | |
| Octubre | 36.0 | 11.6 | |
| Noviembre | 60.2 | 26.1 | |
| Diciembre | 61.8 | 27.1 | |
| Total | 709.0 | 315.1 | |

Figura 41. Precipitación, San Rafael.

Fuente: Córdova, 2015.

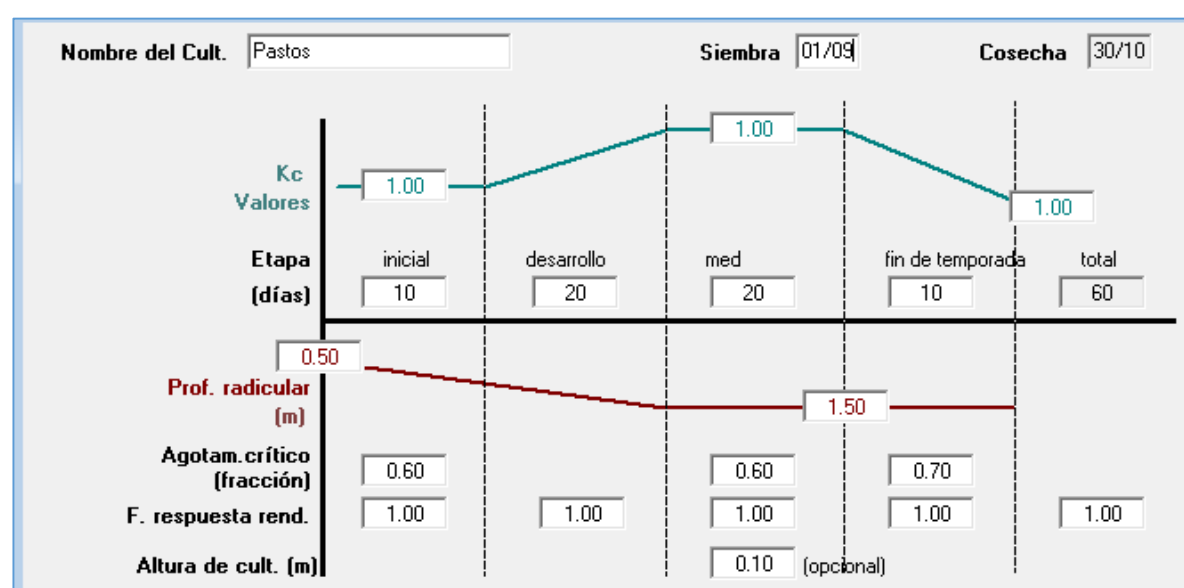


Figura 42. Cultivos, San Rafael.
Fuente: Córdoba, 2015.

Nombre del suelo

Datos generales de suelo

| | | |
|--|------------------------------------|-------------|
| Humedad de suelo disponible total (CC-PMP) | <input type="text" value="100.0"/> | mm/metro |
| Tasa máxima de infiltración de la precipitación | <input type="text" value="35"/> | mm/día |
| Profundidad radicular máxima | <input type="text" value="100"/> | centímetros |
| Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT) | <input type="text" value="17"/> | % |
| Humedad de suelo inicialmente disponible | <input type="text" value="83.0"/> | mm/metro |

Figura 43. Suelo, San Rafael.
Fuente: Córdoba, 2015.

| Nombre de patrón de cultivo <input type="text" value="San Rafael"/> | | | | | |
|---|--|------------------|---------------|---------------|--------|
| No. | Archivo de cultivo | Nombre del cult. | Siembra fecha | Cosecha fecha | Área % |
| 1. | ...\\Caudal Ficticio Continuo\\Cultivos\\Alfalfa.CRO | Alfalfa | 05/09 | 13/11 | 35 |
| 2. | ...Caudal Ficticio Continuo\\Cultivos\\Cereales.CRO | Cereales | 03/09 | 30/01 | 5 |
| 3. | ...ael\\Caudal Ficticio Continuo\\Cultivos\\Maiz.CRO | Maiz | 05/09 | 27/04 | 5 |
| 4. | ...\\Caudal Ficticio Continuo\\Cultivos\\Cebolla.CRO | Cebolla | 05/09 | 17/02 | 5 |
| 5. | ...\\Caudal Ficticio Continuo\\Cultivos\\Pastos.CRO | Pastos | 05/09 | 03/11 | 40 |
| 6. | ...audal Ficticio Continuo\\Cultivos\\Hortalizas.CRO | Hortaliza | 05/08 | 02/12 | 10 |

Figura 44. Patrón de cultivo, San Rafael.
Fuente: Córdova, 2015.

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| Déficit de Precipitación | | | | | | | | | | | | |
| 1. Alfalfa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 54.3 | 89.6 | 22.7 | 0.0 |
| 2. Cereales | 30.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.3 | 81.4 | 51.2 | 42.0 |
| 3. Maiz | 69.7 | 40.2 | 42.5 | 14.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 13.3 | 30.7 | 27.6 | 41.6 |
| 4. Cebolla | 55.6 | 12.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 26.0 | 73.9 | 43.5 | 35.8 |
| 5. Pastos | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 54.1 | 86.5 | 4.3 | 0.0 |
| 6. Hortaliza | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 30.8 | 48.2 | 79.5 | 41.7 | 3.8 |
| Req. Netos sistema | | | | | | | | | | | | |
| en mm/día | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 1.6 | 2.7 | 0.7 | 0.2 |
| en mm/mes | 7.8 | 2.6 | 2.1 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.1 | 48.4 | 83.2 | 20.0 | 6.3 |
| en l/s/h | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.19 | 0.31 | 0.08 | 0.02 |
| Area Irrigada | 15.0 | 10.0 | 5.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 25.0 |
| (% del area total) | | | | | | | | | | | | |
| Req. de riego area real | 0.19 | 0.11 | 0.16 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.19 | 0.31 | 0.08 | 0.09 |
| (l/s/h) | | | | | | | | | | | | |

Figura 45. Resultados QFC, San Rafael.
Fuente: Córdova, 2015.

Anexo C – Software Cropwat 8.0 con datos para Tuncarta.

País

Ecuador

Estación

Saraguro

Altitud

2525

m.

Latitud

3.43

°S

Longitud

79.15

°W

| Mes | Temp Min | Temp Max | Humedad | Viento | Insolación | Rad | ETo |
|------------|----------|----------|---------|--------|------------|-----------|--------|
| | °C | °C | % | m/s | horas | MJ/m²/día | mm/día |
| Enero | 7.5 | 24.8 | 97 | 5.0 | 7.3 | 20.6 | 3.43 |
| Febrero | 8.5 | 25.2 | 96 | 6.0 | 6.8 | 20.3 | 3.45 |
| Marzo | 11.3 | 22.1 | 96 | 4.0 | 7.0 | 20.5 | 3.16 |
| Abril | 10.3 | 22.5 | 96 | 4.0 | 7.2 | 19.9 | 3.09 |
| Mayo | 6.6 | 25.6 | 95 | 6.0 | 6.4 | 17.5 | 3.35 |
| Junio | 1.5 | 22.6 | 95 | 5.0 | 5.5 | 15.5 | 2.89 |
| Julio | 8.7 | 24.2 | 96 | 6.0 | 5.8 | 16.2 | 2.74 |
| Agosto | 7.6 | 20.7 | 95 | 8.0 | 7.1 | 19.1 | 2.66 |
| Septiembre | 4.2 | 26.0 | 95 | 4.0 | 7.4 | 20.7 | 3.84 |
| Octubre | 4.5 | 27.0 | 96 | 5.0 | 7.4 | 21.0 | 4.06 |
| Noviembre | 4.0 | 26.2 | 96 | 4.0 | 6.6 | 19.5 | 3.75 |
| Diciembre | 9.8 | 21.5 | 97 | 4.0 | 5.3 | 17.3 | 2.67 |
| Promedio | 7.0 | 24.0 | 96 | 5.1 | 6.7 | 19.0 | 3.26 |

Figura 46. Clima, Tuncarta.
Fuente: Córdova, 2015.

| Estación <input type="text" value="Saraguro"/> | | Método Prec. Ef <input type="text" value="Método USDA S.C."/> | |
|--|-----------|---|--|
| | Precipit. | Prec. efec | |
| | mm | mm | |
| Enero | 29.8 | 28.4 | |
| Febrero | 111.3 | 91.5 | |
| Marzo | 56.4 | 51.3 | |
| Abril | 107.7 | 89.1 | |
| Mayo | 91.9 | 78.4 | |
| Junio | 57.7 | 52.4 | |
| Julio | 52.1 | 47.8 | |
| Agosto | 16.2 | 15.8 | |
| Septiembre | 29.1 | 27.7 | |
| Octubre | 36.1 | 34.0 | |
| Noviembre | 63.2 | 56.8 | |
| Diciembre | 112.5 | 92.3 | |
| Total | 764.0 | 665.4 | |

Figura 47. Precipitación Tuncarta.
Fuente: Córdova, 2015.

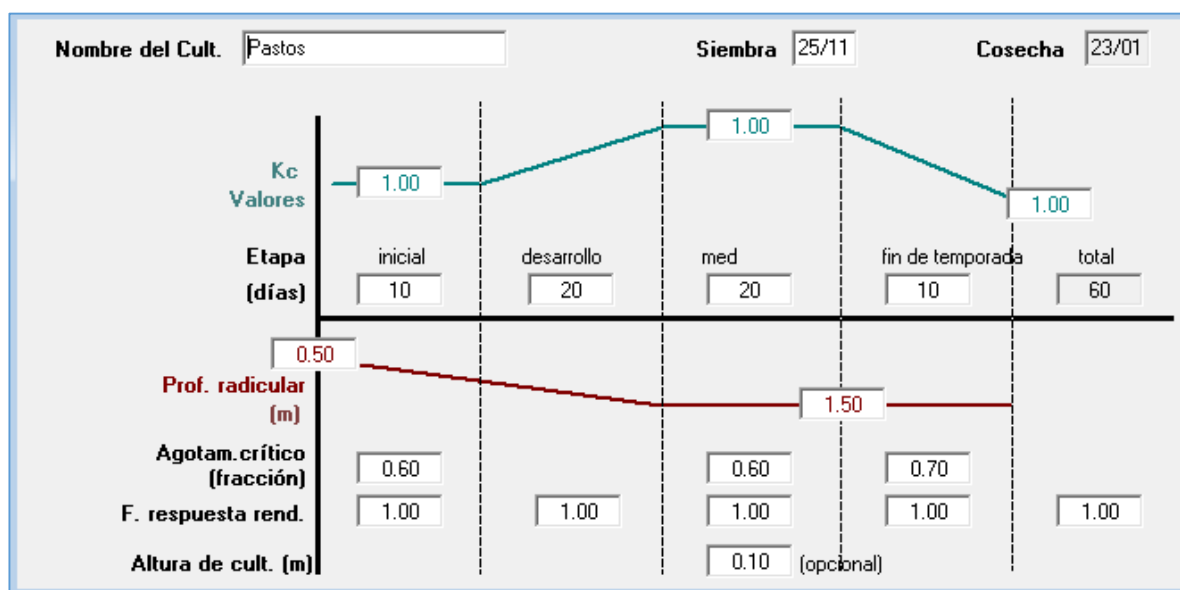


Figura 48. Cultivo, Tuncarta.
Fuente: Córdova, 2015.

Nombre del suelo

Datos generales de suelo

| | | |
|--|------------------------------------|-------------|
| Humedad de suelo disponible total (CC-PMP) | <input type="text" value="100.0"/> | mm/metro |
| Tasa máxima de infiltración de la precipitación | <input type="text" value="35"/> | mm/día |
| Profundidad radicular máxima | <input type="text" value="100"/> | centímetros |
| Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT) | <input type="text" value="17"/> | % |
| Humedad de suelo inicialmente disponible | <input type="text" value="83.0"/> | mm/metro |

Figura 49. Suelo, Tuncarta.
Fuente: Córdova, 2015.

| Nombre de patrón de cultivo <input type="text" value="Saraguro"/> | | | | | |
|---|--|------------------|---------------|---------------|--------|
| No. | Archivo de cultivo | Nombre del cult. | Siembra fecha | Cosecha fecha | Área % |
| 1. | ...a\Caudal Ficticio Continuo\Cultivos\Alfalfa.CRO | Alfalfa | 01/06 | 09/08 | 5 |
| 2. | ...Caudal Ficticio Continuo\Cultivos\Cereales.CRO | Cereales | 01/06 | 28/10 | 5 |
| 3. | ...ta\Caudal Ficticio Continuo\Cultivos\Maiz.CRO | Maiz | 01/06 | 21/01 | 10 |
| 4. | ...a\Caudal Ficticio Continuo\Cultivos\Cebolla.CRO | Cebolla | 01/06 | 13/11 | 5 |
| 5. | ...a\Caudal Ficticio Continuo\Cultivos\Pastos.CRO | Pastos | 01/06 | 30/07 | 65 |
| 6. | ...audal Ficticio Continuo\Cultivos\Hortalizas.CRO | Hortaliza | 01/06 | 28/09 | 10 |

Figura 50. Patrón de cultivo, Tuncarta.
Fuente: Córdova, 2015.

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|
| Déficit de Precipitación | | | | | | | | | | | | |
| 1. Alfalfa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 37.4 | 46.4 | 18.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2. Cereales | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 | 44.0 | 82.1 | 102.0 | 35.9 | 0.0 | 0.0 |
| 3. Maiz | 40.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 54.9 | 101.6 | 109.5 | 70.5 | 5.1 |
| 4. Cebolla | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.7 | 36.8 | 71.6 | 90.6 | 83.7 | 16.6 | 0.0 |
| 5. Pastos | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 36.7 | 39.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 6. Hortaliza | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9.4 | 30.4 | 73.9 | 80.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Req. Netos sistema | | | | | | | | | | | | |
| en mm/día | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 1.1 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.3 | 0.0 |
| en mm/mes | 4.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 27.1 | 35.3 | 21.5 | 27.8 | 16.9 | 7.9 | 0.5 |
| en l/s/h | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.13 | 0.08 | 0.11 | 0.06 | 0.03 | 0.00 |
| Area Irigada | 10.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 90.0 | 100.0 | 35.0 | 30.0 | 20.0 | 15.0 | 10.0 |
| (% del area total) | | | | | | | | | | | | |
| Req.de riego area real | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.12 | 0.13 | 0.23 | 0.36 | 0.32 | 0.20 | 0.02 |
| (l/s/h) | | | | | | | | | | | | |

Figura 51. Resultados QFC, Tuncarta.
Fuente: Córdova, 2015.

Anexo D – Código en C para cálculo de la máquina.

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

int main () {

    //Cargar Tabla desde el Disco
    FILE* tabla;
    tabla = fopen("C:\\Users\\Owner\\Desktop\\tuncarta.tsv", "rb");
    if (tabla == NULL) return -1;
    fseek(tabla, 0, SEEK_END);
    long tabla_len = ftell(tabla);
    fseek(tabla, 0, SEEK_SET);
    char* tabla_mem = (char*) malloc(tabla_len + 1);
    fread(tabla_mem, sizeof(char), tabla_len, tabla);
    fclose(tabla);

    //Obtener Numero de Sectores
    printf("Numero de Sectores para Calcular: ");
    int sectores;
    scanf("%d", &sectores);
    printf("\n");

    //Obtener Rango para Cada Sector
    int* rangos = malloc(sectores * 2 * sizeof(int));
    int s;
    for (s = 0; s < (sectores * 2); s += 2){
        printf("Sector %d:\n", ((s/2)+1));
        printf("Minimo: ");
        scanf("%d", (rangos + s));
        printf("Maximo: ");
        scanf("%d", (rangos + s + 1));
        printf("\n");
    }
}
```



```

//Analizar Datos
char* c = tabla_mem;
long memi = 0;
while (*c != '\n') {
    c++;
    memi++;
}
while (memi < tabla_len){
    char* fila_pos = c;
    int col = 1;
    //printf("Col %d\n", col);
    int num_chars = 0;
    while (*c != '\t') {
        c++;
        num_chars++;
    }
    char* id = malloc((num_chars + 1) * sizeof(char));
    c -= num_chars;
    int i;
    for (i = 0; i < num_chars; i++, c++, memi++) {
        *(id + i) = *c;
    }
    col++;
    //printf("Col %d\n", col);
    while (*c != '\t') {
        c++;
        memi++;
    }
    col++;
    //printf("Col %d\n", col);
    c++;
    memi++;
    while (*c != '\t') {
        c++;

```

```

        memi++;
    }
    col++;
    //printf("Col %d\n", col);
    c++;
    memi++;
    while (*c != '\t') {
        c++;
        memi++;
    }
    col++;
    //printf("Col %d\n", col);
    c++;
    memi++;
    num_chars = 0;
    while (*c != '\t') {
        c++;
        num_chars++;
    }
    char* pres_char = malloc((num_chars + 1) * sizeof(char));
    c -= num_chars;
    for (i = 0; i < num_chars; i++, c++){
        *(pres_char + i) = *c;
        memi++;
    }
    double pres = strtod(pres_char, NULL);
    while (*c != '\n') {
        c++;
        memi++;
    }
    //printf("Pression: %f\n", pres);
    //Reglas de Negocios:
    if (pres < 0) {
        printf("Nodo: %s Pression: %f -> Presion no puede ser menor a 0.\n",
id, pres);

```

```

        c++;
        memi++;
        continue;
    } else if (pres > 80) {
        printf("Nodo: %s Pression: %f -> Pression no puede ser mayor a 80\n",
id, pres);

        c++;
        memi++;
        continue;
    }
    //Comprobar contra los Rangos:
    int* r = rangos;
    for (s = 0; s < sectores; s++) {
        int rango[] = {0, 0};
        rango[0] = *r;
        r++;
        rango[1] = *r;
        r++;
        if (pres >= rango[0] && pres < rango[1]) {
            printf("Sector %d: %s con pression: %f \n", (s + 1), id, pres);
            break;
        }
    }
    c++;
    memi++;
    //printf("memi: %ld\n", memi);
}
}

```

Anexo E – Diseño de redes a la demanda.

San Rafael:

Tabla 38. Diseño a la demanda, San Rafael izquierdo (parte 1).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 51 | 0.31 | 3608 | 262.60 | 25 | 0.79 |
| 50 | 0.62 | 3615 | 136.20 | 32 | 0.94 |
| 49 | 0.31 | 3600 | 56.00 | 25 | 0.79 |
| 48 | 0.93 | 3614 | 131.80 | 40 | 0.90 |
| 61 | 0.62 | 3519 | 230.00 | 32 | 0.94 |
| 60 | 0.93 | 3542 | 95.60 | 40 | 0.90 |
| 59 | 0.31 | 3545 | 88.00 | 25 | 0.79 |
| 58 | 1.24 | 3542 | 27.20 | 40 | 1.20 |
| 62 | 0.62 | 3542 | 145.30 | 32 | 0.94 |
| 57 | 1.86 | 3542 | 205.20 | 50 | 1.16 |
| 56 | 1.86 | 3574 | 3.30 | 50 | 1.16 |
| 55 | 0.31 | 3571 | 28.90 | 25 | 0.79 |
| 54 | 2.17 | 3574 | 27.30 | 50 | 1.35 |
| 53 | 0.31 | 3583 | 74.90 | 25 | 0.79 |
| 52 | 2.79 | 3583 | 231.50 | 63 | 1.09 |
| 47 | 4.03 | 3625 | 119.60 | 63 | 1.07 |
| 46 | 4.03 | 3645 | 48.70 | 75 | 1.07 |
| 45 | 0.31 | 3625 | 82.80 | 25 | 0.79 |
| 44 | 0.62 | 3621 | 54.60 | 32 | 0.94 |
| 43 | 0.93 | 3630 | 84.90 | 40 | 0.90 |
| 42 | 0.31 | 3635 | 57.40 | 25 | 0.79 |
| 41 | 1.24 | 3647 | 39.70 | 40 | 1.20 |
| 40 | 5.27 | 3649 | 49.00 | 75 | 1.40 |
| 39 | 0.31 | 3649 | 20.30 | 25 | 0.79 |
| 38 | 5.89 | 3652 | 596.70 | 75 | 1.57 |
| 37 | 6.20 | 3675 | 47.50 | 90 | 1.19 |
| 36 | 0.62 | 3678 | 86.60 | 32 | 0.94 |
| 35 | 6.51 | 3698 | 54.00 | 90 | 1.25 |
| 34 | 6.51 | 3710 | 181.70 | 90 | 1.25 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 39. Diseño a la demanda, San Rafael izquierdo (parte 2).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 33 | 0.62 | 3710 | 95.10 | 32 | 0.94 |
| 32 | 7.13 | 3737 | 149.20 | 90 | 1.37 |
| 31 | 7.13 | 3755 | 29.50 | 90 | 1.37 |
| 29a | 7.13 | 3765 | 144.50 | 90 | 1.37 |
| 30 | 0.62 | 3809 | 145.80 | 32 | 0.94 |
| 29 | 8.37 | 3825 | 115.50 | 90 | 1.61 |
| 28 | 8.68 | 3881 | 374.60 | 90 | 1.67 |
| 27 | 0.62 | 3862 | 224.80 | 32 | 0.94 |
| 26 | 0.31 | 3879 | 42.90 | 25 | 0.79 |
| 25 | 0.93 | 3880 | 243.10 | 40 | 0.90 |
| 24 | 9.92 | 3924 | 82.00 | 110 | 1.27 |
| 23 | 0.31 | 3795 | 155.00 | 25 | 0.79 |
| 22 | 0.62 | 3835 | 211.10 | 32 | 0.94 |
| 21 | 0.31 | 3878 | 93.10 | 25 | 0.79 |
| 20 | 1.24 | 3890 | 129.00 | 40 | 1.20 |
| 19 | 0.31 | 3890 | 59.60 | 25 | 0.79 |
| 18 | 1.55 | 3896 | 83.30 | 50 | 0.97 |
| 17 | 1.86 | 3908 | 351.00 | 50 | 1.16 |
| 16 | 0.62 | 3928 | 169.30 | 32 | 0.94 |
| 15 | 3.41 | 3930 | 132.10 | 63 | 1.34 |
| 14 | 12.71 | 3937 | 84.40 | 110 | 1.63 |
| 13 | 12.71 | 3952 | 116.70 | 110 | 1.63 |
| 12 | 12.71 | 3965 | 50.60 | 110 | 1.63 |
| 11 | 12.71 | 3970 | 5.10 | 110 | 1.63 |
| 10 | 12.71 | 3968 | 144.20 | 110 | 1.63 |
| 9 | 12.71 | 4015 | 56.50 | 110 | 1.63 |
| 8 | 13.64 | 4020 | 289.50 | 110 | 1.75 |
| 7 | 13.95 | 4028 | 335.60 | 110 | 1.79 |
| 6 | 13.95 | 4042 | 63.80 | 110 | 1.79 |
| 5 | 13.95 | 4043 | 49.60 | 110 | 1.79 |
| 4a | 13.95 | 4028 | 48.20 | 110 | 1.79 |
| 4 | 13.95 | 4021 | 27.40 | 110 | 1.79 |
| 3a | 13.95 | 4028 | 49.80 | 110 | 1.79 |
| 3 | 14.26 | 4050 | 608.00 | 110 | 1.83 |
| 2 | 14.57 | 4055 | 125.40 | 110 | 1.87 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 40. Diseño a la demanda, San Rafael centro.

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 36 | 0.62 | 3627 | 173.90 | 25 | 1.57 |
| 35 | 0.62 | 3640 | 89.10 | 25 | 1.57 |
| 34 | 0.93 | 3642 | 92.30 | 32 | 1.41 |
| 33 | 1.24 | 3643 | 89.90 | 32 | 1.20 |
| 32 | 1.86 | 3660 | 79.20 | 40 | 1.81 |
| 31 | 0.62 | 3647 | 145.10 | 25 | 1.57 |
| 30 | 1.24 | 3668 | 274.60 | 32 | 1.88 |
| 29 | 3.41 | 3680 | 78.00 | 63 | 1.34 |
| 28 | 3.41 | 3695 | 442.50 | 63 | 1.34 |
| 27 | 0.31 | 3727 | 73.10 | 20 | 1.27 |
| 26 | 0.62 | 3735 | 52.80 | 25 | 1.57 |
| 25 | 4.03 | 3735 | 63.70 | 63 | 1.58 |
| 24 | 0.62 | 3727 | 383.20 | 25 | 1.57 |
| 23 | 4.96 | 3752 | 77.50 | 63 | 1.94 |
| 22 | 0.31 | 3747 | 141.20 | 20 | 1.27 |
| 21 | 5.27 | 3775 | 58.80 | 63 | 2.07 |
| 20 | 5.58 | 3790 | 232.90 | 63 | 2.19 |
| 19 | 5.58 | 3825 | 121.40 | 63 | 2.19 |
| 18 | 5.58 | 3836 | 42.10 | 63 | 2.19 |
| 17 | 0.31 | 3772 | 103.60 | 20 | 1.27 |
| 16 | 1.24 | 3794 | 331.00 | 32 | 1.88 |
| 15 | 1.24 | 3825 | 50.80 | 32 | 1.88 |
| 14 | 1.24 | 3833 | 69.80 | 32 | 1.88 |
| 13 | 7.13 | 3836 | 152.00 | 75 | 1.90 |
| 12 | 7.13 | 3880 | 52.10 | 75 | 1.90 |
| 11 | 7.44 | 3895 | 273.90 | 75 | 1.98 |
| 10 | 7.75 | 3925 | 202.80 | 75 | 2.06 |
| 9 | 8.06 | 3975 | 335.60 | 75 | 2.14 |
| 8 | 8.37 | 3995 | 237.60 | 75 | 2.23 |
| 7 | 8.68 | 4011 | 126.60 | 75 | 2.31 |
| 6 | 22.94 | 4020 | 274.40 | 125 | 2.29 |
| 5 | 23.25 | 4032 | 67.10 | 125 | 2.32 |
| 4 | 0.62 | 4032 | 70.30 | 25 | 1.57 |
| 3 | 23.87 | 4035 | 67.50 | 125 | 2.38 |
| 2 | 23.87 | 4055 | 132.70 | 125 | 2.38 |

Fuente: Córdova, 2015.

Tabla 41. Diseño a la demanda, San Rafael derecho (parte 1).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 87 | 0.31 | 3518 | 133.20 | 20 | 1.27 |
| 86 | 0.93 | 3537 | 66.60 | 32 | 1.41 |
| 85 | 1.24 | 3537 | 94.80 | 32 | 1.88 |
| 84 | 1.55 | 3560 | 334.30 | 40 | 1.51 |
| 83 | 2.79 | 3553 | 150.50 | 50 | 1.74 |
| 82 | 3.41 | 3547 | 457.10 | 50 | 2.13 |
| 81 | 3.41 | 3590 | 60.10 | 50 | 2.13 |
| 80 | 3.41 | 3596 | 155.50 | 50 | 2.13 |
| 79 | 3.72 | 3606 | 90.00 | 63 | 1.46 |
| 78 | 0.31 | 3609 | 70.60 | 20 | 1.27 |
| 77 | 4.34 | 3609 | 133.60 | 63 | 1.70 |
| 76 | 4.34 | 3625 | 170.20 | 63 | 1.70 |
| 75 | 0.62 | 3627 | 126.00 | 25 | 1.57 |
| 74 | 5.58 | 3644 | 171.90 | 63 | 2.19 |
| 73 | 0.31 | 3650 | 71.60 | 20 | 1.27 |
| 72 | 6.20 | 3671 | 233.10 | 75 | 1.65 |
| 71 | 6.20 | 3690 | 131.40 | 75 | 1.65 |
| 70 | 6.82 | 3695 | 176.40 | 75 | 1.81 |
| 69 | 0.93 | 3690 | 213.90 | 32 | 1.41 |
| 68 | 1.24 | 3710 | 78.80 | 32 | 1.88 |
| 67 | 1.24 | 3707 | 270.70 | 32 | 1.88 |
| 66 | 1.55 | 3709 | 106.90 | 40 | 1.51 |
| 65 | 8.37 | 3717 | 78.00 | 90 | 1.61 |
| 64 | 0.31 | 3679 | 79.30 | 20 | 1.27 |
| 63 | 1.24 | 3695 | 228.70 | 32 | 1.88 |
| 62 | 1.24 | 3703 | 94.50 | 32 | 1.88 |
| 60 | 9.61 | 3717 | 217.70 | 90 | 1.85 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 42. Diseño a la demanda, San Rafael derecho (parte 2).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 59 | 9.92 | 3730 | 271.80 | 90 | 1.91 |
| 58 | 10.23 | 3759 | 48.90 | 90 | 1.97 |
| 57 | 10.54 | 3764 | 82.30 | 90 | 2.03 |
| 56 | 0.31 | 3776 | 55.20 | 20 | 1.27 |
| 55 | 10.85 | 3777 | 146.20 | 90 | 2.09 |
| 54 | 11.16 | 3791 | 144.20 | 90 | 2.14 |
| 53 | 0.31 | 3801 | 135.80 | 20 | 1.27 |
| 52 | 11.78 | 3802 | 205.70 | 110 | 1.51 |
| 51 | 0.31 | 3812 | 233.50 | 20 | 1.27 |
| 50 | 0.62 | 3798 | 109.20 | 25 | 1.57 |
| 49 | 0.93 | 3811 | 161.20 | 32 | 1.41 |
| 48 | 12.71 | 3815 | 52.90 | 110 | 1.63 |
| 47 | 12.71 | 3825 | 244.00 | 110 | 1.63 |
| 46 | 12.71 | 3875 | 92.10 | 110 | 1.63 |
| 45 | 0.31 | 3888 | 49.00 | 20 | 1.27 |
| 44 | 13.02 | 3890 | 98.00 | 110 | 1.67 |
| 43 | 13.02 | 3900 | 128.10 | 110 | 1.67 |
| 42 | 13.64 | 3915 | 95.00 | 110 | 1.75 |
| 41 | 0.31 | 3915 | 265.60 | 20 | 1.27 |
| 40 | 13.95 | 3935 | 136.50 | 110 | 1.79 |
| 39 | 13.95 | 3965 | 130.60 | 110 | 1.79 |
| 38 | 0.31 | 3988 | 50.40 | 20 | 1.27 |
| 37 | 14.26 | 4000 | 85.80 | 110 | 1.83 |
| 6 | 22.94 | 4020 | 274.40 | 140 | 1.82 |
| 5 | 23.25 | 4032 | 67.10 | 140 | 1.85 |
| 4 | 0.62 | 4032 | 70.30 | 25 | 1.57 |
| 3 | 23.87 | 4035 | 67.50 | 140 | 1.90 |
| 2 | 23.87 | 4055 | 132.70 | 140 | 1.90 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tuncarta:

Tabla 43. Diseño a la demanda, Tuncarta izquierdo (parte 1).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| PM3 | 0.72 | 1282.87 | 168.00 | 32 | 1.09 |
| PM2 | 1.44 | 1338.52 | 85.54 | 40 | 1.40 |
| PN2 | 0.72 | 1309.51 | 35.60 | 32 | 1.09 |
| PN1 | 1.44 | 1315.15 | 78.86 | 40 | 1.40 |
| PM1 | 3.60 | 1343.74 | 79.67 | 63 | 1.41 |
| PL4 | 0.72 | 1328.47 | 87.14 | 32 | 1.09 |
| PL3 | 1.44 | 1317.23 | 133.30 | 40 | 1.40 |
| PL2 | 2.16 | 1314.68 | 101.00 | 50 | 1.35 |
| PL1 | 6.48 | 1346.55 | 135.40 | 90 | 1.25 |
| P31 | 0.36 | 1385.32 | 35.98 | 25 | 0.91 |
| P30 | 0.72 | 1389.20 | 64.02 | 32 | 1.09 |
| P29 | 1.44 | 1379.87 | 97.23 | 40 | 1.40 |
| P28 | 8.28 | 1388.21 | 47.12 | 90 | 1.59 |
| P27 | 8.28 | 1390.34 | 72.39 | 90 | 1.59 |
| PK4 | 0.72 | 1332.02 | 49.27 | 32 | 1.09 |
| PK3 | 1.44 | 1332.82 | 113.30 | 40 | 1.40 |
| PK2 | 1.80 | 1317.77 | 162.50 | 50 | 1.12 |
| PK1 | 2.16 | 1356.58 | 136.90 | 50 | 1.35 |
| P26 | 10.80 | 1391.99 | 56.90 | 110 | 1.39 |
| P25 | 10.80 | 1401.56 | 43.90 | 110 | 1.39 |
| P24 | 10.80 | 1408.85 | 57.38 | 110 | 1.39 |
| PJ5 | 0.72 | 1328.88 | 95.53 | 32 | 1.09 |
| PJ4 | 1.44 | 1338.50 | 99.88 | 40 | 1.40 |
| PJ3 | 2.16 | 1347.58 | 100.90 | 50 | 1.35 |
| PJ2 | 3.24 | 1358.60 | 106.30 | 63 | 1.27 |
| PJ1 | 3.96 | 1367.39 | 104.80 | 75 | 1.05 |
| P23 | 15.12 | 1412.25 | 37.78 | 125 | 1.51 |
| P22 | 15.12 | 1417.23 | 22.72 | 125 | 1.51 |
| P21 | 15.12 | 1420.82 | 109.10 | 125 | 1.51 |
| P20 | 15.12 | 1432.30 | 37.88 | 125 | 1.51 |
| P19 | 15.12 | 1440.60 | 72.62 | 125 | 1.51 |
| PI4 | 0.36 | 1348.61 | 99.72 | 25 | 0.91 |
| PI3 | 1.08 | 1357.16 | 160.20 | 40 | 1.05 |
| PI2 | 1.44 | 1378.37 | 66.46 | 40 | 1.40 |
| OB1 | 2.16 | 1394.23 | 88.83 | 50 | 1.35 |
| PI1 | 3.24 | 1409.10 | 148.12 | 63 | 1.27 |
| P18 | 18.36 | 1448.81 | 148.12 | 125 | 1.83 |
| PH5 | 0.72 | 1348.96 | 77.46 | 32 | 1.09 |
| PH4 | 1.08 | 1364.65 | 133.70 | 40 | 1.05 |
| PH3 | 1.44 | 1409.51 | 33.65 | 40 | 1.40 |
| PH2 | 2.88 | 1411.29 | 211.30 | 63 | 1.13 |
| PH1 | 3.96 | 1430.97 | 104.50 | 63 | 1.55 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 44. Diseño a la demanda, Tuncarta izquierdo (parte 2).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|-------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| P17 | 21.96 | 1457.00 | 153.70 | 140 | 1.74 |
| PG5 | 0.72 | 1357.12 | 124.00 | 32 | 1.09 |
| PG4 | 1.44 | 1379.85 | 56.90 | 40 | 1.40 |
| PG3 | 2.16 | 1390.65 | 85.69 | 50 | 1.35 |
| PG2 | 2.88 | 1414.12 | 130.00 | 63 | 1.13 |
| PG1 | 3.24 | 1430.00 | 63.08 | 63 | 1.27 |
| P16 | 25.20 | 1460.04 | 48.26 | 160 | 1.53 |
| P15 | 25.56 | 1460.79 | 78.45 | 160 | 1.55 |
| P14 | 25.56 | 1462.16 | 38.31 | 160 | 1.55 |
| PF5 | 0.72 | 1360.62 | 209.60 | 32 | 1.09 |
| PF4 | 1.44 | 1396.19 | 65.07 | 40 | 1.40 |
| PF3 | 1.80 | 1413.17 | 21.71 | 50 | 1.12 |
| PF2 | 2.88 | 1416.33 | 77.59 | 63 | 1.13 |
| PF1 | 3.60 | 1425.41 | 127.60 | 63 | 1.41 |
| P13 | 29.16 | 1462.82 | 59.10 | 160 | 1.77 |
| P12 | 29.52 | 1463.53 | 109.10 | 160 | 1.79 |
| PE6 | 0.72 | 1360.52 | 165.80 | 32 | 1.09 |
| PE5 | 1.44 | 1406.59 | 68.00 | 40 | 1.40 |
| PE4 | 2.16 | 1422.09 | 53.95 | 50 | 1.35 |
| PE3 | 2.88 | 1432.74 | 25.52 | 63 | 1.13 |
| PE2 | 3.24 | 1434.75 | 84.41 | 63 | 1.27 |
| PAUX1 | 0.36 | 1426.49 | 73.86 | 25 | 0.95 |
| PE1 | 4.32 | 1442.80 | 131.00 | 75 | 1.15 |
| P11 | 33.84 | 1464.88 | 66.59 | 160 | 2.06 |
| PD5 | 1.08 | 1388.73 | 90.68 | 40 | 1.05 |
| PD4 | 1.80 | 1415.82 | 54.31 | 50 | 1.12 |
| PD3 | 2.52 | 1417.30 | 120.90 | 63 | 0.99 |
| PD2 | 2.88 | 1454.72 | 33.49 | 63 | 1.13 |
| PD1 | 3.60 | 1463.22 | 158.00 | 63 | 1.41 |
| P10 | 37.08 | 1465.46 | 134.00 | 200 | 1.44 |
| PC4 | 1.08 | 1376.42 | 137.10 | 40 | 1.05 |
| PC3 | 1.80 | 1401.01 | 117.20 | 50 | 1.12 |
| PC2 | 2.52 | 1418.86 | 96.50 | 63 | 0.99 |
| PC1 | 2.88 | 1430.00 | 211.00 | 63 | 1.13 |
| P9 | 39.60 | 1466.64 | 124.30 | 200 | 1.54 |
| PB5 | 0.36 | 1361.97 | 78.73 | 25 | 0.95 |
| PB4 | 1.08 | 1402.82 | 71.21 | 40 | 1.05 |
| PB3 | 1.44 | 1422.27 | 98.54 | 50 | 0.90 |
| PB2 | 1.80 | 1455.51 | 21.99 | 50 | 1.12 |
| PB1 | 2.16 | 1456.87 | 172.10 | 50 | 1.35 |
| P8 | 41.76 | 1469.32 | 74.27 | 200 | 1.62 |
| P7 | 42.12 | 1478.07 | 36.52 | 200 | 1.64 |
| P6 | 42.48 | 1482.84 | 61.39 | 200 | 1.65 |
| PA5 | 0.36 | 1425.50 | 44.99 | 25 | 0.95 |
| PA4 | 1.08 | 1437.44 | 114.60 | 40 | 1.05 |
| PA3 | 1.44 | 1458.85 | 70.97 | 40 | 1.40 |
| PA2 | 1.80 | 1469.40 | 81.77 | 50 | 1.12 |
| PA1 | 2.16 | 1479.76 | 59.39 | 50 | 1.35 |
| P5 | 2.16 | 1487.62 | 15.24 | 50 | 1.35 |
| P4 | 44.28 | 1489.21 | 44.42 | 200 | 1.72 |
| P3 | 44.28 | 1493.00 | 36.44 | 200 | 1.72 |
| P2 | 44.28 | 1496.54 | 26.84 | 200 | 1.72 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 45. Diseño a la demanda, Tuncarta derecho (parte 1).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| PI'1 | 0.36 | 1346.26 | 184.60 | 25 | 0.91 |
| PJ'1 | 0.36 | 1295.56 | 212.90 | 25 | 0.91 |
| PS11 | 1.08 | 1358.68 | 149.90 | 40 | 1.05 |
| PG'1 | 0.36 | 1347.12 | 189.40 | 25 | 0.91 |
| PH'1 | 0.72 | 1309.12 | 192.70 | 32 | 1.09 |
| PS10 | 2.88 | 1362.61 | 150.00 | 63 | 1.13 |
| PE'1 | 0.36 | 1348.22 | 229.10 | 25 | 0.91 |
| PF'1 | 0.72 | 1325.03 | 195.30 | 32 | 1.09 |
| PS9 | 4.32 | 1368.34 | 113.20 | 75 | 1.15 |
| PC'1 | 0.72 | 1357.94 | 199.50 | 32 | 1.09 |
| PD'2 | 0.36 | 1363.42 | 110.61 | 25 | 0.91 |
| PD'1 | 0.72 | 1369.56 | 39.07 | 32 | 1.09 |
| PS8 | 6.12 | 1371.89 | 130.20 | 90 | 1.18 |
| PA'1 | 0.36 | 1362.74 | 161.00 | 25 | 0.91 |
| PB'2 | 0.72 | 1333.91 | 190.30 | 32 | 1.09 |
| PB'1 | 1.08 | 1375.79 | 47.80 | 40 | 1.05 |
| PS7 | 7.56 | 1377.50 | 43.52 | 90 | 1.45 |
| PS6 | 7.92 | 1376.54 | 114.70 | 90 | 1.52 |
| PY1 | 0.36 | 1362.04 | 199.40 | 25 | 0.91 |
| PZ2 | 0.36 | 1352.39 | 76.82 | 25 | 0.91 |
| PZ1 | 0.72 | 1368.26 | 68.86 | 32 | 1.09 |
| PS5 | 9.36 | 1378.92 | 116.20 | 110 | 1.20 |
| PX2 | 0.36 | 1368.21 | 71.56 | 25 | 0.91 |
| PX1 | 1.08 | 1381.42 | 65.59 | 40 | 1.05 |
| PS4 | 10.80 | 1388.63 | 52.48 | 110 | 1.39 |
| PW1 | 0.36 | 1369.91 | 147.70 | 25 | 0.91 |
| PS3 | 11.52 | 1395.98 | 107.10 | 110 | 1.48 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 46. Diseño a la demanda, Tuncarta derecho (parte 2).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| PV1 | 0.36 | 1361.97 | 157.70 | 25 | 0.91 |
| PS2 | 12.60 | 1406.17 | 90.05 | 110 | 1.62 |
| PU2 | 0.36 | 1383.80 | 103.10 | 25 | 0.91 |
| PU1 | 0.72 | 1401.02 | 76.12 | 32 | 1.09 |
| PT2 | 0.36 | 1390.70 | 52.03 | 25 | 0.91 |
| PT1 | 0.72 | 1403.42 | 91.62 | 32 | 1.09 |
| PS1 | 14.40 | 1405.43 | 103.70 | 125 | 1.44 |
| PQ6 | 0.36 | 1386.31 | 128.90 | 25 | 0.91 |
| PQ5 | 0.72 | 1416.63 | 91.93 | 32 | 1.09 |
| PQ4 | 1.08 | 1411.70 | 94.88 | 40 | 1.05 |
| PQ3 | 16.20 | 1414.36 | 129.10 | 125 | 1.62 |
| PR5 | 0.72 | 1355.60 | 76.88 | 32 | 1.09 |
| PR4 | 1.08 | 1388.48 | 59.72 | 40 | 1.05 |
| PR3 | 1.44 | 1403.74 | 28.61 | 40 | 1.40 |
| PR2 | 1.80 | 1409.03 | 80.11 | 50 | 1.12 |
| PR1 | 2.16 | 1412.69 | 142.10 | 50 | 1.35 |
| PQ2 | 18.72 | 1424.05 | 81.85 | 125 | 1.87 |
| PQ1 | 19.44 | 1434.02 | 129.10 | 140 | 1.54 |
| PO7 | 0.36 | 1406.50 | 74.69 | 25 | 0.91 |
| PO6 | 0.72 | 1428.43 | 71.34 | 32 | 1.09 |
| PO5 | 20.88 | 1446.25 | 124.80 | 140 | 1.66 |
| PP5 | 0.36 | 1353.80 | 97.45 | 25 | 0.91 |
| PP4 | 0.72 | 1372.42 | 124.40 | 32 | 1.09 |
| PP3 | 1.44 | 1429.26 | 37.93 | 40 | 1.40 |
| PP2 | 1.44 | 1450.00 | 127.40 | 40 | 1.40 |
| PP1 | 2.16 | 1473.82 | 113.00 | 50 | 1.35 |
| PO4 | 23.40 | 1476.70 | 86.43 | 140 | 1.86 |
| PO3 | 23.76 | 1484.91 | 131.10 | 140 | 1.89 |
| PO2 | 24.48 | 1483.34 | 70.98 | 140 | 1.94 |
| PO1 | 24.48 | 1491.80 | 24.84 | 140 | 1.94 |
| P2 | 24.48 | 1496.54 | 26.84 | 140 | 1.94 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Anexo F– Diseño de redes por turnos.

San Rafael:

Tabla 47. Diseño por turnos, San Rafael izquierdo (parte 1).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 2 | 14.57 | 4080 | 125.40 | 110 | 1.87 |
| 3 | 14.57 | 4050 | 608.00 | 110 | 1.87 |
| 3a | 14.26 | 4028 | 49.80 | 110 | 1.83 |
| 4 | 14.26 | 4021 | 27.40 | 110 | 1.83 |
| 4a | 14.26 | 4028 | 48.20 | 110 | 1.83 |
| 5 | 14.26 | 4043 | 49.60 | 110 | 1.83 |
| 6 | 14.26 | 4042 | 63.80 | 110 | 1.83 |
| 7 | 14.26 | 4028 | 335.60 | 110 | 1.83 |
| 8 | 13.95 | 4020 | 289.50 | 110 | 1.79 |
| 9 | 13.02 | 4015 | 56.50 | 110 | 1.67 |
| 10 | 13.02 | 3968 | 144.20 | 110 | 1.67 |
| 11 | 13.02 | 3970 | 5.10 | 110 | 1.67 |
| 12 | 13.02 | 3965 | 50.60 | 110 | 1.67 |
| 13 | 13.02 | 3952 | 116.70 | 110 | 1.67 |
| 14 | 13.02 | 3937 | 84.40 | 110 | 1.67 |
| 15 | 3.10 | 3930 | 132.10 | 50 | 1.93 |
| 16 | 0.62 | 3928 | 169.30 | 32 | 0.94 |
| 17 | 2.17 | 3908 | 351.00 | 40 | 2.11 |
| 18 | 1.55 | 3896 | 83.30 | 40 | 1.51 |
| 19 | 0.31 | 3890 | 59.60 | 20 | 1.27 |
| 20 | 1.24 | 3890 | 129.00 | 40 | 1.20 |
| 21 | 0.31 | 3878 | 93.10 | 20 | 1.27 |
| 22 | 0.62 | 3835 | 211.10 | 25 | 1.57 |
| 23 | 0.31 | 3795 | 155.00 | 20 | 1.27 |
| 24 | 9.92 | 3924 | 82.00 | 90 | 1.91 |
| 25 | 0.93 | 3880 | 243.10 | 32 | 1.41 |
| 26 | 0.31 | 3879 | 42.90 | 25 | 0.79 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 48. Diseño por turnos, San Rafael izquierdo (parte 2).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 27 | 0.62 | 3862 | 224.80 | 32 | 0.94 |
| 28 | 8.68 | 3881 | 374.60 | 90 | 1.67 |
| 29 | 8.37 | 3825 | 115.50 | 90 | 1.61 |
| 30 | 0.62 | 3809 | 145.80 | 32 | 0.94 |
| 29a | 7.13 | 3765 | 144.50 | 90 | 1.37 |
| 31 | 7.13 | 3755 | 29.50 | 90 | 1.37 |
| 32 | 7.13 | 3737 | 149.20 | 90 | 1.37 |
| 33 | 0.62 | 3710 | 95.10 | 32 | 0.94 |
| 34 | 6.51 | 3710 | 181.70 | 75 | 2.10 |
| 35 | 6.51 | 3698 | 54.00 | 75 | 2.10 |
| 36 | 0.62 | 3678 | 86.60 | 32 | 0.94 |
| 37 | 5.58 | 3675 | 47.50 | 75 | 1.80 |
| 38 | 5.58 | 3652 | 596.70 | 75 | 1.80 |
| 39 | 0.31 | 3649 | 20.30 | 20 | 1.27 |
| 40 | 4.96 | 3649 | 49.00 | 75 | 1.60 |
| 41 | 1.24 | 3647 | 39.70 | 40 | 1.20 |
| 42 | 0.31 | 3635 | 57.40 | 20 | 1.27 |
| 43 | 0.93 | 3630 | 84.90 | 40 | 0.90 |
| 44 | 0.62 | 3621 | 54.60 | 32 | 0.94 |
| 45 | 0.31 | 3625 | 82.80 | 20 | 1.27 |
| 46 | 3.72 | 3645 | 48.70 | 63 | 1.46 |
| 47 | 3.72 | 3625 | 119.60 | 63 | 1.46 |
| 52 | 2.79 | 3583 | 231.50 | 50 | 1.74 |
| 53 | 0.31 | 3583 | 74.90 | 20 | 1.27 |
| 54 | 2.17 | 3574 | 27.30 | 50 | 1.35 |
| 55 | 0.31 | 3571 | 28.90 | 20 | 1.27 |
| 56 | 1.86 | 3574 | 3.30 | 40 | 1.81 |
| 57 | 1.86 | 3542 | 205.20 | 40 | 1.81 |
| 62 | 0.62 | 3542 | 145.30 | 32 | 0.94 |
| 58 | 1.24 | 3542 | 27.20 | 40 | 1.20 |
| 59 | 0.31 | 3545 | 88.00 | 20 | 1.27 |
| 60 | 0.93 | 3542 | 95.60 | 32 | 1.41 |
| 61 | 0.62 | 3519 | 230.00 | 32 | 0.94 |
| 48 | 0.93 | 3614 | 131.80 | 32 | 1.41 |
| 49 | 0.31 | 3600 | 56.00 | 20 | 1.27 |
| 50 | 0.62 | 3615 | 136.20 | 32 | 0.94 |
| 51 | 0.31 | 3608 | 262.60 | 20 | 1.27 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 49. Diseño por turnos, San Rafael centro.

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 2 | 4.96 | 4055 | 132.70 | 75 | 1.60 |
| 3 | 4.96 | 4035 | 67.50 | 75 | 1.60 |
| 4 | 0.62 | 4032 | 70.30 | 32 | 0.94 |
| 5 | 4.96 | 4032 | 67.10 | 75 | 1.60 |
| 6 | 4.96 | 4020 | 274.40 | 75 | 1.60 |
| 7 | 4.96 | 4011 | 126.60 | 75 | 1.60 |
| 8 | 4.96 | 3995 | 237.60 | 75 | 1.60 |
| 9 | 4.96 | 3975 | 335.60 | 75 | 1.60 |
| 10 | 4.96 | 3925 | 202.80 | 75 | 1.60 |
| 11 | 4.96 | 3895 | 273.90 | 75 | 1.60 |
| 12 | 4.96 | 3880 | 52.10 | 75 | 1.60 |
| 13 | 4.96 | 3836 | 152.00 | 75 | 1.60 |
| 14 | 1.24 | 3833 | 69.80 | 32 | 1.88 |
| 15 | 1.24 | 3825 | 50.80 | 32 | 1.88 |
| 16 | 1.24 | 3794 | 331.00 | 32 | 1.88 |
| 17 | 0.31 | 3772 | 103.60 | 20 | 1.27 |
| 18 | 4.96 | 3836 | 42.10 | 75 | 1.60 |
| 19 | 4.96 | 3825 | 121.40 | 75 | 1.60 |
| 20 | 4.96 | 3790 | 232.90 | 75 | 1.60 |
| 21 | 4.96 | 3775 | 58.80 | 75 | 1.60 |
| 22 | 0.31 | 3747 | 141.20 | 20 | 1.27 |
| 23 | 4.65 | 3752 | 77.50 | 63 | 1.82 |
| 24 | 0.62 | 3727 | 383.20 | 32 | 0.94 |
| 25 | 3.72 | 3735 | 63.70 | 63 | 1.46 |
| 26 | 0.31 | 3735 | 52.80 | 20 | 1.27 |
| 27 | 0.31 | 3727 | 73.10 | 20 | 1.27 |
| 28 | 3.10 | 3695 | 442.50 | 50 | 1.93 |
| 29 | 3.10 | 3680 | 78.00 | 50 | 1.93 |
| 30 | 1.24 | 3668 | 274.60 | 40 | 1.20 |
| 31 | 0.62 | 3647 | 145.10 | 32 | 0.94 |
| 32 | 1.86 | 3660 | 79.20 | 40 | 1.81 |
| 33 | 1.24 | 3643 | 89.90 | 40 | 1.20 |
| 34 | 0.62 | 3642 | 92.30 | 32 | 0.94 |
| 35 | 0.62 | 3640 | 89.10 | 32 | 0.94 |
| 36 | 0.62 | 3627 | 173.90 | 32 | 0.94 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 50. Diseño por turnos, San Rafael derecho (parte 1).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 2 | 15.81 | 4055 | 132.70 | 110 | 2.029 |
| 3 | 15.81 | 4035 | 67.50 | 110 | 2.029 |
| 4 | 0.62 | 4032 | 70.30 | 32 | 0.939 |
| 5 | 15.19 | 4032 | 67.10 | 110 | 1.950 |
| 6 | 14.88 | 4020 | 274.40 | 110 | 1.910 |
| 7 | 0.31 | 4011 | 126.70 | 20 | 1.274 |
| 37 | 14.57 | 4000 | 85.80 | 110 | 1.870 |
| 38 | 0.31 | 3988 | 50.40 | 20 | 1.274 |
| 39 | 14.26 | 3965 | 130.60 | 110 | 1.830 |
| 40 | 14.26 | 3935 | 136.50 | 110 | 1.830 |
| 41 | 0.31 | 3915 | 265.60 | 20 | 1.274 |
| 42 | 13.95 | 3915 | 95.00 | 110 | 1.790 |
| 43 | 13.33 | 3900 | 128.10 | 110 | 1.711 |
| 44 | 13.33 | 3890 | 98.00 | 110 | 1.711 |
| 45 | 0.31 | 3888 | 49.00 | 20 | 1.274 |
| 46 | 13.02 | 3875 | 92.10 | 110 | 1.671 |
| 47 | 13.02 | 3825 | 244.00 | 110 | 1.671 |
| 48 | 13.02 | 3815 | 52.90 | 110 | 1.671 |
| 49 | 0.93 | 3811 | 161.20 | 32 | 1.408 |
| 50 | 0.62 | 3798 | 109.20 | 25 | 1.573 |
| 51 | 0.31 | 3812 | 233.50 | 20 | 1.274 |
| 52 | 12.09 | 3802 | 205.70 | 110 | 1.552 |
| 53 | 0.31 | 3801 | 135.80 | 20 | 1.274 |
| 54 | 11.47 | 3791 | 144.20 | 110 | 1.472 |
| 55 | 11.16 | 3777 | 146.20 | 110 | 1.432 |
| 56 | 0.31 | 3776 | 55.20 | 20 | 1.274 |
| 57 | 10.54 | 3764 | 82.30 | 110 | 1.353 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 51. Diseño por turnos, San Rafael derecho (parte 2).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 58 | 10.23 | 3759 | 48.90 | 90 | 1.966 |
| 59 | 9.92 | 3730 | 271.80 | 90 | 1.906 |
| 60 | 9.61 | 3717 | 217.70 | 90 | 1.847 |
| 62 | 1.24 | 3703 | 94.50 | 40 | 1.205 |
| 63 | 1.24 | 3695 | 228.70 | 40 | 1.205 |
| 64 | 0.31 | 3679 | 79.30 | 20 | 1.274 |
| 65 | 8.37 | 3717 | 78.00 | 90 | 1.608 |
| 66 | 1.55 | 3709 | 106.90 | 40 | 1.506 |
| 67 | 1.24 | 3707 | 270.70 | 32 | 1.877 |
| 68 | 1.24 | 3710 | 78.80 | 32 | 1.877 |
| 69 | 0.93 | 3690 | 213.90 | 32 | 1.408 |
| 70 | 6.82 | 3695 | 176.40 | 90 | 1.311 |
| 71 | 6.20 | 3690 | 131.40 | 75 | 1.995 |
| 72 | 6.20 | 3671 | 233.10 | 75 | 1.995 |
| 73 | 0.31 | 3650 | 71.60 | 20 | 1.274 |
| 74 | 5.27 | 3644 | 171.90 | 75 | 1.696 |
| 75 | 0.62 | 3627 | 126.00 | 25 | 1.573 |
| 76 | 4.03 | 3625 | 170.20 | 63 | 1.579 |
| 77 | 4.03 | 3609 | 133.60 | 63 | 1.579 |
| 78 | 0.31 | 3609 | 70.60 | 20 | 1.274 |
| 79 | 3.41 | 3606 | 90.00 | 63 | 1.336 |
| 80 | 3.10 | 3596 | 155.50 | 50 | 1.932 |
| 81 | 3.10 | 3590 | 60.10 | 50 | 1.932 |
| 82 | 3.10 | 3547 | 457.10 | 50 | 1.932 |
| 83 | 2.79 | 3553 | 150.50 | 50 | 1.739 |
| 84 | 1.55 | 3560 | 334.30 | 40 | 1.506 |
| 85 | 1.24 | 3537 | 94.80 | 40 | 1.205 |
| 86 | 0.93 | 3537 | 66.60 | 32 | 1.408 |
| 87 | 0.31 | 3518 | 133.20 | 20 | 1.274 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tuncarta:

Tabla 52. Diseño por turnos, Tuncarta izquierdo (parte 1).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|-------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| P2 | 34.92 | 1496.54 | 26.84 | 200 | 1.36 |
| P3 | 34.92 | 1493.00 | 36.44 | 200 | 1.36 |
| P4 | 34.92 | 1489.21 | 44.42 | 200 | 1.36 |
| P5 | 1.80 | 1487.62 | 15.24 | 40 | 1.75 |
| PA1 | 1.80 | 1479.76 | 59.39 | 40 | 1.75 |
| PA2 | 1.44 | 1469.40 | 81.77 | 32 | 2.18 |
| PA3 | 1.08 | 1458.85 | 70.97 | 32 | 1.64 |
| PA4 | 0.72 | 1437.44 | 114.60 | 32 | 1.09 |
| PA5 | 0.36 | 1425.50 | 44.99 | 25 | 0.91 |
| P6 | 34.92 | 1482.84 | 61.39 | 200 | 1.36 |
| P7 | 34.92 | 1478.07 | 36.52 | 200 | 1.36 |
| P8 | 34.92 | 1469.32 | 74.27 | 200 | 1.36 |
| PB1 | 1.80 | 1456.87 | 172.10 | 40 | 1.75 |
| PB2 | 1.44 | 1455.51 | 21.99 | 40 | 1.40 |
| PB3 | 1.08 | 1422.27 | 98.54 | 32 | 1.64 |
| PB4 | 0.72 | 1402.82 | 71.21 | 25 | 1.83 |
| PB5 | 0.36 | 1361.97 | 78.73 | 25 | 0.91 |
| P9 | 34.92 | 1466.64 | 124.30 | 200 | 1.36 |
| PC1 | 2.52 | 1430.00 | 211.00 | 50 | 1.57 |
| PC2 | 2.16 | 1418.86 | 96.50 | 40 | 2.10 |
| PC3 | 1.44 | 1401.01 | 117.20 | 40 | 1.40 |
| PC4 | 0.72 | 1376.42 | 137.10 | 32 | 1.09 |
| P10 | 34.92 | 1465.46 | 134.00 | 200 | 1.36 |
| PD1 | 2.52 | 1463.22 | 158.00 | 63 | 0.99 |
| PD2 | 1.80 | 1454.72 | 33.49 | 50 | 1.12 |
| PD3 | 1.44 | 1417.30 | 120.90 | 40 | 1.40 |
| PD4 | 0.72 | 1415.82 | 54.31 | 32 | 1.09 |
| PD5 | 0.72 | 1388.73 | 90.68 | 32 | 1.09 |
| P11 | 34.20 | 1464.88 | 66.59 | 160 | 2.08 |
| PE1 | 3.96 | 1442.80 | 131.00 | 63 | 1.55 |
| PAUX1 | 0.36 | 1426.49 | 73.86 | 25 | 0.91 |
| PE2 | 2.88 | 1434.75 | 84.41 | 63 | 1.13 |
| PE3 | 2.52 | 1432.74 | 25.52 | 63 | 0.99 |
| PE4 | 2.16 | 1422.09 | 53.95 | 40 | 2.10 |
| PE5 | 1.44 | 1406.59 | 68.00 | 32 | 2.18 |
| PE6 | 0.72 | 1360.52 | 165.80 | 32 | 1.09 |
| P12 | 29.88 | 1463.53 | 109.10 | 160 | 1.81 |
| P13 | 29.52 | 1462.82 | 59.10 | 160 | 1.79 |
| PF1 | 3.24 | 1425.41 | 127.60 | 50 | 2.02 |
| PF2 | 2.52 | 1416.33 | 77.59 | 50 | 1.57 |
| PF3 | 1.80 | 1413.17 | 21.71 | 40 | 1.75 |
| PF4 | 1.44 | 1396.19 | 65.07 | 32 | 2.18 |
| PF5 | 0.72 | 1360.62 | 209.60 | 32 | 1.09 |
| P14 | 25.92 | 1462.16 | 38.31 | 160 | 1.57 |
| P15 | 25.92 | 1460.79 | 78.45 | 160 | 1.57 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 53. Diseño por turnos, Tuncarta izquierdo (parte 2).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| P16 | 25.56 | 1460.04 | 48.26 | 160 | 1.55 |
| PG1 | 2.88 | 1432.00 | 63.08 | 50 | 1.79 |
| PG2 | 2.52 | 1414.12 | 130.00 | 40 | 2.45 |
| PG3 | 2.16 | 1390.00 | 85.69 | 40 | 2.10 |
| PG4 | 1.44 | 1379.85 | 56.90 | 32 | 2.18 |
| PG5 | 0.72 | 1357.12 | 124.00 | 32 | 1.09 |
| P17 | 22.32 | 1457.00 | 153.70 | 140 | 2.23 |
| PH1 | 3.60 | 1430.97 | 104.50 | 63 | 1.41 |
| PH2 | 2.52 | 1411.29 | 211.30 | 50 | 1.57 |
| PH3 | 1.44 | 1409.51 | 33.65 | 40 | 1.40 |
| PH4 | 1.08 | 1364.65 | 133.70 | 40 | 1.05 |
| PH5 | 0.72 | 1348.96 | 77.46 | 32 | 1.09 |
| P18 | 18.36 | 1440.00 | 148.12 | 125 | 1.83 |
| PI1 | 2.88 | 1409.10 | 148.12 | 50 | 1.79 |
| OB1 | 2.16 | 1394.23 | 88.83 | 50 | 1.35 |
| PI2 | 1.44 | 1378.37 | 66.46 | 40 | 1.40 |
| PI3 | 1.08 | 1357.16 | 160.20 | 32 | 1.64 |
| PI4 | 0.36 | 1348.61 | 99.72 | 25 | 0.91 |
| P19 | 15.12 | 1440.60 | 72.62 | 125 | 1.51 |
| P20 | 15.12 | 1432.30 | 37.88 | 125 | 1.51 |
| P21 | 15.12 | 1420.82 | 109.10 | 125 | 1.51 |
| P22 | 15.12 | 1417.23 | 22.72 | 125 | 1.51 |
| P23 | 15.12 | 1412.25 | 37.78 | 125 | 1.51 |
| PJ1 | 3.60 | 1367.39 | 104.80 | 63 | 1.41 |
| PJ2 | 2.88 | 1358.60 | 106.30 | 63 | 1.13 |
| PJ3 | 2.16 | 1347.58 | 100.90 | 50 | 1.35 |
| PJ4 | 1.44 | 1338.50 | 99.88 | 40 | 1.40 |
| PJ5 | 0.72 | 1328.88 | 95.53 | 32 | 1.09 |
| P24 | 10.80 | 1408.85 | 57.38 | 90 | 2.08 |
| P25 | 10.80 | 1401.56 | 43.90 | 90 | 2.08 |
| P26 | 10.80 | 1391.99 | 56.90 | 90 | 2.08 |
| PK1 | 2.16 | 1356.58 | 136.90 | 50 | 1.35 |
| PK2 | 1.80 | 1317.77 | 162.50 | 40 | 1.75 |
| PK3 | 1.44 | 1332.82 | 113.30 | 40 | 1.40 |
| PK4 | 0.72 | 1332.02 | 49.27 | 32 | 1.09 |
| P27 | 8.28 | 1390.34 | 72.39 | 90 | 1.59 |
| P28 | 8.28 | 1388.21 | 47.12 | 90 | 1.59 |
| P29 | 1.44 | 1379.87 | 97.23 | 40 | 1.40 |
| P30 | 0.72 | 1389.20 | 64.02 | 32 | 1.09 |
| P31 | 0.36 | 1385.32 | 35.98 | 25 | 0.91 |
| PL1 | 6.12 | 1346.55 | 135.40 | 90 | 1.18 |
| PL2 | 2.16 | 1314.68 | 101.00 | 40 | 2.10 |
| PL3 | 1.44 | 1317.23 | 133.30 | 32 | 2.18 |
| PL4 | 0.72 | 1328.47 | 87.14 | 32 | 1.09 |
| PM1 | 3.24 | 1343.74 | 79.67 | 63 | 1.27 |
| PN1 | 1.44 | 1315.15 | 78.86 | 40 | 1.40 |
| PN2 | 0.72 | 1309.51 | 35.60 | 32 | 1.09 |
| PM2 | 1.44 | 1338.52 | 85.54 | 40 | 1.40 |
| PM3 | 0.72 | 1282.87 | 168.00 | 32 | 1.09 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 54. Diseño por turnos, Tuncarta derecho (parte 1).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| P2 | 24.84 | 1496.54 | 26.84 | 140 | 1.97 |
| PO1 | 24.84 | 1491.80 | 24.84 | 140 | 1.97 |
| PO2 | 24.84 | 1483.34 | 70.98 | 140 | 1.97 |
| PO3 | 24.12 | 1484.91 | 131.10 | 140 | 1.92 |
| PO4 | 23.76 | 1476.70 | 86.43 | 140 | 1.89 |
| PP1 | 2.16 | 1473.82 | 113.00 | 40 | 2.10 |
| PP2 | 1.44 | 1450.00 | 127.40 | 40 | 1.40 |
| PP3 | 1.44 | 1429.26 | 37.93 | 40 | 1.40 |
| PP4 | 0.72 | 1372.42 | 124.40 | 32 | 1.09 |
| PP5 | 0.36 | 1353.80 | 97.45 | 25 | 0.91 |
| PO5 | 21.24 | 1446.25 | 124.80 | 125 | 2.12 |
| PO6 | 0.72 | 1428.43 | 71.34 | 32 | 1.09 |
| PO7 | 0.36 | 1406.50 | 74.69 | 25 | 0.91 |
| PQ1 | 19.80 | 1434.02 | 129.10 | 125 | 1.97 |
| PQ2 | 19.08 | 1424.05 | 81.85 | 125 | 1.90 |
| PR1 | 2.16 | 1412.69 | 142.10 | 50 | 1.35 |
| PR2 | 1.80 | 1409.03 | 80.11 | 50 | 1.12 |
| PR3 | 1.44 | 1403.74 | 28.61 | 40 | 1.40 |
| PR4 | 1.08 | 1388.48 | 59.72 | 32 | 1.64 |
| PR5 | 0.72 | 1355.60 | 76.88 | 32 | 1.09 |
| PQ3 | 16.20 | 1414.36 | 129.10 | 125 | 1.62 |
| PQ4 | 1.08 | 1411.70 | 94.88 | 40 | 1.05 |
| PQ5 | 0.72 | 1416.63 | 91.93 | 32 | 1.09 |
| PQ6 | 0.36 | 1386.31 | 128.90 | 25 | 0.91 |
| PS1 | 14.40 | 1405.43 | 103.70 | 110 | 1.85 |
| PT1 | 0.72 | 1403.42 | 91.62 | 32 | 1.09 |
| PT2 | 0.36 | 1390.70 | 52.03 | 25 | 0.91 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 55. Diseño por turnos, Tuncarta derecho (parte 2).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| PU1 | 0.72 | 1401.02 | 76.12 | 32 | 1.09 |
| PU2 | 0.36 | 1383.80 | 103.10 | 25 | 0.91 |
| PS2 | 12.60 | 1406.17 | 90.05 | 110 | 1.62 |
| PV1 | 0.36 | 1361.97 | 157.70 | 25 | 0.91 |
| PS3 | 11.52 | 1395.98 | 107.10 | 110 | 1.48 |
| PW1 | 0.36 | 1369.91 | 147.70 | 25 | 0.91 |
| PS4 | 10.80 | 1388.63 | 52.48 | 110 | 1.39 |
| PX1 | 1.08 | 1381.42 | 65.59 | 40 | 1.05 |
| PX2 | 0.36 | 1368.21 | 71.56 | 25 | 0.91 |
| PS5 | 9.36 | 1378.92 | 116.20 | 90 | 1.80 |
| PZ1 | 0.72 | 1368.26 | 68.86 | 32 | 1.09 |
| PZ2 | 0.36 | 1352.39 | 76.82 | 25 | 0.91 |
| PY1 | 0.36 | 1362.04 | 199.40 | 25 | 0.91 |
| PS6 | 7.92 | 1376.54 | 114.70 | 90 | 1.52 |
| PS7 | 7.56 | 1377.50 | 43.52 | 90 | 1.45 |
| PB'1 | 1.08 | 1375.79 | 47.80 | 40 | 1.05 |
| PB'2 | 0.72 | 1333.91 | 190.30 | 32 | 1.09 |
| PA'1 | 0.36 | 1362.74 | 161.00 | 25 | 0.91 |
| PS8 | 5.76 | 1371.89 | 130.20 | 75 | 1.85 |
| PD'1 | 0.72 | 1369.56 | 39.07 | 32 | 1.09 |
| PD'2 | 0.36 | 1363.42 | 110.61 | 25 | 0.91 |
| PC'1 | 0.72 | 1357.94 | 199.50 | 32 | 1.09 |
| PS9 | 3.96 | 1368.34 | 113.20 | 63 | 1.55 |
| PF'1 | 0.72 | 1325.03 | 195.30 | 32 | 1.09 |
| PE'1 | 0.36 | 1348.22 | 229.10 | 25 | 0.91 |
| PS10 | 2.52 | 1362.61 | 150.00 | 50 | 1.57 |
| PH'1 | 0.72 | 1309.12 | 192.70 | 32 | 1.09 |
| PG'1 | 0.36 | 1347.12 | 189.40 | 25 | 0.91 |
| PS11 | 1.08 | 1358.68 | 149.90 | 40 | 1.05 |
| PJ'1 | 0.36 | 1295.56 | 212.90 | 25 | 0.91 |
| PI'1 | 0.36 | 1346.26 | 184.60 | 25 | 0.91 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Anexo G – Diseño de redes con sectorización.

San Rafael:

Tabla 56. Diseño con sectorización, San Rafael izquierdo (parte 1).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 2 | 7.44 | 4080 | 125.40 | 90 | 1.43 |
| 3 | 7.44 | 4050 | 608.00 | 90 | 1.43 |
| 3a | 7.13 | 4028 | 49.80 | 90 | 1.37 |
| 4 | 7.13 | 4021 | 27.40 | 90 | 1.37 |
| 4a | 7.13 | 4028 | 48.20 | 90 | 1.37 |
| 5 | 7.13 | 4043 | 49.60 | 90 | 1.37 |
| 6 | 7.13 | 4042 | 63.80 | 90 | 1.37 |
| 7 | 7.13 | 4028 | 335.60 | 90 | 1.37 |
| 8 | 7.13 | 4020 | 289.50 | 90 | 1.37 |
| 9 | 7.13 | 4015 | 56.50 | 90 | 1.37 |
| 10 | 7.13 | 3968 | 144.20 | 90 | 1.37 |
| 11 | 7.13 | 3970 | 5.10 | 90 | 1.37 |
| 12 | 7.13 | 3965 | 50.60 | 90 | 1.37 |
| 13 | 7.13 | 3952 | 116.70 | 90 | 1.37 |
| 14 | 7.13 | 3937 | 84.40 | 90 | 1.37 |
| 15 | 2.17 | 3930 | 132.10 | 50 | 1.35 |
| 16 | 0.62 | 3928 | 169.30 | 32 | 0.94 |
| 17 | 1.24 | 3908 | 351.00 | 40 | 1.20 |
| 18 | 1.24 | 3896 | 83.30 | 40 | 1.20 |
| 19 | 0.31 | 3890 | 59.60 | 25 | 0.79 |
| 20 | 0.93 | 3890 | 129.00 | 40 | 0.90 |
| 21 | 0.31 | 3878 | 93.10 | 25 | 0.79 |
| 22 | 0.31 | 3835 | 211.10 | 25 | 0.79 |
| 23 | 0.31 | 3795 | 155.00 | 25 | 0.79 |
| 24 | 4.96 | 3924 | 82.00 | 90 | 0.95 |
| 25 | 0.93 | 3880 | 243.10 | 32 | 1.41 |
| 26 | 0.31 | 3879 | 42.90 | 25 | 0.79 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 57. Diseño con sectorización, San Rafael izquierdo (parte 2).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 27 | 0.62 | 3862 | 224.80 | 32 | 0.94 |
| 28 | 4.65 | 3881 | 374.60 | 75 | 1.50 |
| 29 | 4.34 | 3825 | 115.50 | 75 | 1.40 |
| 30 | 0.62 | 3809 | 145.80 | 32 | 0.94 |
| 29a | 4.34 | 3765 | 144.50 | 75 | 1.40 |
| 31 | 4.34 | 3755 | 29.50 | 75 | 1.40 |
| 32 | 4.34 | 3737 | 149.20 | 75 | 1.40 |
| 33 | 0.62 | 3710 | 95.10 | 32 | 0.94 |
| 34 | 3.72 | 3710 | 181.70 | 63 | 1.46 |
| 35 | 3.72 | 3698 | 54.00 | 63 | 1.46 |
| 36 | 0.62 | 3678 | 86.60 | 32 | 0.94 |
| 37 | 3.10 | 3675 | 47.50 | 63 | 1.21 |
| 38 | 3.10 | 3652 | 596.70 | 63 | 1.21 |
| 39 | 0.31 | 3649 | 20.30 | 25 | 0.79 |
| 40 | 3.10 | 3649 | 49.00 | 63 | 1.21 |
| 41 | 0.93 | 3647 | 39.70 | 40 | 0.90 |
| 42 | 0.31 | 3635 | 57.40 | 25 | 0.79 |
| 43 | 0.93 | 3630 | 84.90 | 40 | 0.90 |
| 44 | 0.62 | 3621 | 54.60 | 32 | 0.94 |
| 45 | 0.31 | 3625 | 82.80 | 25 | 0.79 |
| 46 | 2.17 | 3645 | 48.70 | 50 | 1.35 |
| 47 | 2.17 | 3625 | 119.60 | 50 | 1.35 |
| 52 | 1.86 | 3583 | 231.50 | 50 | 1.16 |
| 53 | 0.31 | 3583 | 74.90 | 25 | 0.79 |
| 54 | 1.24 | 3574 | 27.30 | 40 | 1.20 |
| 55 | 0.31 | 3571 | 28.90 | 25 | 0.79 |
| 56 | 1.24 | 3574 | 3.30 | 40 | 1.20 |
| 57 | 1.24 | 3542 | 205.20 | 40 | 1.20 |
| 62 | 0.62 | 3542 | 145.30 | 32 | 0.94 |
| 58 | 0.62 | 3542 | 27.20 | 32 | 0.94 |
| 59 | 0.31 | 3545 | 88.00 | 25 | 0.79 |
| 60 | 0.62 | 3542 | 95.60 | 32 | 0.94 |
| 61 | 0.62 | 3519 | 230.00 | 32 | 0.94 |
| 48 | 0.62 | 3614 | 131.80 | 32 | 0.94 |
| 49 | 0.31 | 3600 | 56.00 | 25 | 0.79 |
| 50 | 0.62 | 3615 | 136.20 | 32 | 0.94 |
| 51 | 0.31 | 3608 | 262.60 | 25 | 0.79 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 58. Diseño con sectorización, San Rafael centro.

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 2 | 6.51 | 4055 | 132.70 | 90 | 1.25 |
| 3 | 6.51 | 4035 | 67.50 | 90 | 1.25 |
| 4 | 0.62 | 4032 | 70.30 | 32 | 0.94 |
| 5 | 5.89 | 4032 | 67.10 | 90 | 1.13 |
| 6 | 5.58 | 4020 | 274.40 | 75 | 1.80 |
| 7 | 5.58 | 4011 | 126.60 | 75 | 1.80 |
| 8 | 5.58 | 3995 | 237.60 | 75 | 1.80 |
| 9 | 5.27 | 3975 | 335.60 | 75 | 1.70 |
| 10 | 4.96 | 3925 | 202.80 | 75 | 1.60 |
| 11 | 4.96 | 3895 | 273.90 | 75 | 1.60 |
| 12 | 4.65 | 3880 | 52.10 | 63 | 1.82 |
| 13 | 4.65 | 3836 | 152.00 | 63 | 1.82 |
| 14 | 0.93 | 3833 | 69.80 | 32 | 1.41 |
| 15 | 0.93 | 3825 | 50.80 | 32 | 1.41 |
| 16 | 0.93 | 3794 | 331.00 | 32 | 1.41 |
| 17 | 0.31 | 3772 | 103.60 | 20 | 1.27 |
| 18 | 3.10 | 3836 | 42.10 | 63 | 1.21 |
| 19 | 3.10 | 3825 | 121.40 | 63 | 1.21 |
| 20 | 3.10 | 3790 | 232.90 | 63 | 1.21 |
| 21 | 2.79 | 3775 | 58.80 | 50 | 1.74 |
| 22 | 0.31 | 3747 | 141.20 | 20 | 1.27 |
| 23 | 2.79 | 3752 | 77.50 | 50 | 1.74 |
| 24 | 0.62 | 3727 | 383.20 | 32 | 0.94 |
| 25 | 2.48 | 3735 | 63.70 | 50 | 1.55 |
| 26 | 0.31 | 3735 | 52.80 | 20 | 1.27 |
| 27 | 0.31 | 3727 | 73.10 | 20 | 1.27 |
| 28 | 1.86 | 3695 | 442.50 | 40 | 1.81 |
| 29 | 1.86 | 3680 | 78.00 | 40 | 1.81 |
| 30 | 1.24 | 3668 | 274.60 | 40 | 1.20 |
| 31 | 0.62 | 3647 | 145.10 | 32 | 0.94 |
| 32 | 1.24 | 3660 | 79.20 | 40 | 1.20 |
| 33 | 1.24 | 3643 | 89.90 | 40 | 1.20 |
| 34 | 0.62 | 3642 | 92.30 | 32 | 0.94 |
| 35 | 0.62 | 3640 | 89.10 | 32 | 0.94 |
| 36 | 0.62 | 3627 | 173.90 | 32 | 0.94 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 59. Diseño con sectorización, San Rafael derecho (parte 1).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 2 | 10.54 | 4055 | 132.70 | 110 | 1.35 |
| 3 | 10.54 | 4035 | 67.50 | 110 | 1.35 |
| 4 | 0.62 | 4032 | 70.30 | 32 | 0.94 |
| 5 | 9.92 | 4032 | 67.10 | 110 | 1.27 |
| 6 | 9.61 | 4020 | 274.40 | 90 | 1.85 |
| 7 | 0.31 | 4011 | 126.70 | 20 | 1.27 |
| 37 | 9.61 | 4000 | 85.80 | 90 | 1.85 |
| 38 | 0.31 | 3988 | 50.40 | 20 | 1.27 |
| 39 | 9.30 | 3965 | 130.60 | 90 | 1.79 |
| 40 | 9.30 | 3935 | 136.50 | 90 | 1.79 |
| 41 | 0.31 | 3915 | 265.60 | 20 | 1.27 |
| 42 | 9.30 | 3915 | 95.00 | 90 | 1.79 |
| 43 | 9.30 | 3900 | 128.10 | 90 | 1.79 |
| 44 | 9.30 | 3890 | 98.00 | 90 | 1.79 |
| 45 | 0.31 | 3888 | 49.00 | 20 | 1.27 |
| 46 | 8.99 | 3875 | 92.10 | 90 | 1.73 |
| 47 | 8.99 | 3825 | 244.00 | 90 | 1.73 |
| 48 | 8.99 | 3815 | 52.90 | 90 | 1.73 |
| 49 | 0.62 | 3811 | 161.20 | 25 | 1.57 |
| 50 | 0.62 | 3798 | 109.20 | 25 | 1.57 |
| 51 | 0.31 | 3812 | 233.50 | 20 | 1.27 |
| 52 | 8.37 | 3802 | 205.70 | 90 | 1.61 |
| 53 | 0.31 | 3801 | 135.80 | 20 | 1.27 |
| 54 | 7.75 | 3791 | 144.20 | 90 | 1.49 |
| 55 | 7.44 | 3777 | 146.20 | 90 | 1.43 |
| 56 | 0.31 | 3776 | 55.20 | 20 | 1.27 |
| 57 | 7.44 | 3764 | 82.30 | 90 | 1.43 |

Fuente: Córdova, 2015.

Tabla 60. Diseño con sectorización, San Rafael derecho (parte 2).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| 58 | 7.44 | 3759 | 48.90 | 90 | 1.43 |
| 59 | 7.44 | 3730 | 271.80 | 90 | 1.43 |
| 60 | 7.13 | 3717 | 217.70 | 90 | 1.37 |
| 62 | 1.24 | 3703 | 94.50 | 40 | 1.20 |
| 63 | 1.24 | 3695 | 228.70 | 40 | 1.20 |
| 64 | 0.31 | 3679 | 79.30 | 20 | 1.27 |
| 65 | 5.89 | 3717 | 78.00 | 75 | 1.90 |
| 66 | 0.93 | 3709 | 106.90 | 32 | 1.41 |
| 67 | 0.93 | 3707 | 270.70 | 32 | 1.41 |
| 68 | 0.93 | 3710 | 78.80 | 32 | 1.41 |
| 69 | 0.93 | 3690 | 213.90 | 32 | 1.41 |
| 70 | 4.96 | 3695 | 176.40 | 75 | 1.60 |
| 71 | 4.96 | 3690 | 131.40 | 75 | 1.60 |
| 72 | 4.96 | 3671 | 233.10 | 75 | 1.60 |
| 73 | 0.31 | 3650 | 71.60 | 20 | 1.27 |
| 74 | 4.65 | 3644 | 171.90 | 75 | 1.50 |
| 75 | 0.62 | 3627 | 126.00 | 25 | 1.57 |
| 76 | 4.03 | 3625 | 170.20 | 63 | 1.58 |
| 77 | 4.03 | 3609 | 133.60 | 63 | 1.58 |
| 78 | 0.31 | 3609 | 70.60 | 20 | 1.27 |
| 79 | 3.41 | 3606 | 90.00 | 63 | 1.34 |
| 80 | 3.10 | 3596 | 155.50 | 50 | 1.93 |
| 81 | 3.10 | 3590 | 60.10 | 50 | 1.93 |
| 82 | 3.10 | 3547 | 457.10 | 50 | 1.93 |
| 83 | 2.79 | 3553 | 150.50 | 50 | 1.74 |
| 84 | 1.55 | 3560 | 334.30 | 40 | 1.51 |
| 85 | 1.24 | 3537 | 94.80 | 40 | 1.20 |
| 86 | 0.93 | 3537 | 66.60 | 32 | 1.41 |
| 87 | 0.31 | 3518 | 133.20 | 20 | 1.27 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tuncarta:

Tabla 61. Diseño con sectorización, Tuncarta izquierdo (parte 1).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|-------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| P2 | 22.68 | 1496.54 | 26.84 | 140 | 1.80 |
| P3 | 22.68 | 1493.00 | 36.44 | 140 | 1.80 |
| P4 | 22.68 | 1489.21 | 44.42 | 140 | 1.80 |
| P5 | 1.08 | 1487.62 | 15.24 | 40 | 1.05 |
| PA1 | 1.08 | 1479.76 | 59.39 | 40 | 1.05 |
| PA2 | 0.72 | 1469.40 | 81.77 | 32 | 1.09 |
| PA3 | 0.72 | 1458.85 | 70.97 | 32 | 1.09 |
| PA4 | 0.72 | 1437.44 | 114.60 | 32 | 1.09 |
| PA5 | 0.36 | 1425.50 | 44.99 | 25 | 0.91 |
| P6 | 21.60 | 1482.84 | 61.39 | 140 | 1.72 |
| P7 | 21.60 | 1478.07 | 36.52 | 140 | 1.72 |
| P8 | 21.60 | 1469.32 | 74.27 | 140 | 1.72 |
| PB1 | 1.44 | 1456.87 | 172.10 | 40 | 1.40 |
| PB2 | 1.08 | 1455.51 | 21.99 | 40 | 1.05 |
| PB3 | 0.72 | 1422.27 | 98.54 | 32 | 1.09 |
| PB4 | 0.36 | 1402.82 | 71.21 | 25 | 0.91 |
| PB5 | 0.36 | 1361.97 | 78.73 | 25 | 0.91 |
| P9 | 20.16 | 1466.64 | 124.30 | 125 | 2.01 |
| PC1 | 1.80 | 1430.00 | 211.00 | 50 | 1.12 |
| PC2 | 1.44 | 1418.86 | 96.50 | 40 | 1.40 |
| PC3 | 1.44 | 1401.01 | 117.20 | 40 | 1.40 |
| PC4 | 0.72 | 1376.42 | 137.10 | 32 | 1.09 |
| P10 | 19.44 | 1465.46 | 134.00 | 125 | 1.94 |
| PD1 | 2.52 | 1463.22 | 158.00 | 63 | 0.99 |
| PD2 | 1.80 | 1454.72 | 33.49 | 50 | 1.12 |
| PD3 | 1.44 | 1417.30 | 120.90 | 40 | 1.40 |
| PD4 | 0.72 | 1415.82 | 54.31 | 32 | 1.09 |
| PD5 | 0.72 | 1388.73 | 90.68 | 32 | 1.09 |
| P11 | 17.64 | 1464.88 | 66.59 | 125 | 1.76 |
| PE1 | 2.52 | 1442.80 | 131.00 | 50 | 1.57 |
| PAUX1 | 0.36 | 1426.49 | 73.86 | 25 | 0.91 |
| PE2 | 1.44 | 1434.75 | 84.41 | 40 | 1.40 |
| PE3 | 1.44 | 1432.74 | 25.52 | 40 | 1.40 |
| PE4 | 1.44 | 1422.09 | 53.95 | 40 | 1.40 |
| PE5 | 0.72 | 1406.59 | 68.00 | 32 | 1.09 |
| PE6 | 0.72 | 1360.52 | 165.80 | 32 | 1.09 |
| P12 | 15.12 | 1463.53 | 109.10 | 110 | 1.94 |
| P13 | 15.12 | 1462.82 | 59.10 | 110 | 1.94 |
| PF1 | 1.80 | 1425.41 | 127.60 | 50 | 1.12 |
| PF2 | 1.80 | 1416.33 | 77.59 | 50 | 1.12 |
| PF3 | 1.08 | 1413.17 | 21.71 | 40 | 1.05 |
| PF4 | 0.72 | 1396.19 | 65.07 | 32 | 1.09 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 62. Diseño con sectorización, Tuncarta izquierdo (parte 2).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| PF5 | 0.72 | 1360.62 | 209.60 | 32 | 1.09 |
| P14 | 13.32 | 1462.16 | 38.31 | 110 | 1.71 |
| P15 | 13.32 | 1460.79 | 78.45 | 110 | 1.71 |
| P16 | 13.32 | 1460.04 | 48.26 | 110 | 1.71 |
| PG1 | 1.80 | 1432.00 | 63.08 | 50 | 1.12 |
| PG2 | 1.44 | 1414.12 | 130.00 | 40 | 1.40 |
| PG3 | 1.44 | 1390.00 | 85.69 | 40 | 1.40 |
| PG4 | 0.72 | 1379.85 | 56.90 | 32 | 1.09 |
| PG5 | 0.72 | 1357.12 | 124.00 | 32 | 1.09 |
| P17 | 12.24 | 1457.00 | 153.70 | 110 | 1.57 |
| PH1 | 2.16 | 1430.97 | 104.50 | 50 | 1.35 |
| PH2 | 1.44 | 1411.29 | 211.30 | 40 | 1.40 |
| PH3 | 1.08 | 1409.51 | 33.65 | 40 | 1.05 |
| PH4 | 1.08 | 1364.65 | 133.70 | 40 | 1.05 |
| PH5 | 0.72 | 1348.96 | 77.46 | 32 | 1.09 |
| P18 | 9.72 | 1440.00 | 148.12 | 110 | 1.25 |
| PI1 | 1.80 | 1409.10 | 148.12 | 50 | 1.12 |
| OB1 | 1.08 | 1394.23 | 88.83 | 40 | 1.05 |
| PI2 | 1.08 | 1378.37 | 66.46 | 40 | 1.05 |
| PI3 | 0.72 | 1357.16 | 160.20 | 32 | 1.09 |
| PI4 | 0.36 | 1348.61 | 99.72 | 25 | 0.91 |
| P19 | 8.28 | 1440.60 | 72.62 | 90 | 1.59 |
| P20 | 8.28 | 1432.30 | 37.88 | 90 | 1.59 |
| P21 | 8.28 | 1420.82 | 109.10 | 90 | 1.59 |
| P22 | 8.28 | 1417.23 | 22.72 | 90 | 1.59 |
| P23 | 8.28 | 1412.25 | 37.78 | 90 | 1.59 |
| PJ1 | 2.16 | 1367.39 | 104.80 | 50 | 1.35 |
| PJ2 | 2.16 | 1358.60 | 106.30 | 50 | 1.35 |
| PJ3 | 2.16 | 1347.58 | 100.90 | 50 | 1.35 |
| PJ4 | 1.44 | 1338.50 | 99.88 | 40 | 1.40 |
| PJ5 | 0.72 | 1328.88 | 95.53 | 32 | 1.09 |
| P24 | 6.84 | 1408.85 | 57.38 | 90 | 1.31 |
| P25 | 6.84 | 1401.56 | 43.90 | 90 | 1.31 |
| P26 | 6.84 | 1391.99 | 56.90 | 90 | 1.31 |
| PK1 | 2.16 | 1356.58 | 136.90 | 50 | 1.35 |
| PK2 | 1.80 | 1317.77 | 162.50 | 40 | 1.75 |
| PK3 | 1.44 | 1332.82 | 113.30 | 40 | 1.40 |
| PK4 | 0.72 | 1332.02 | 49.27 | 32 | 1.09 |
| P27 | 6.84 | 1390.34 | 72.39 | 90 | 1.31 |
| P28 | 6.84 | 1388.21 | 47.12 | 90 | 1.31 |
| P29 | 1.44 | 1379.87 | 97.23 | 40 | 1.40 |
| P30 | 0.72 | 1389.20 | 64.02 | 32 | 1.09 |
| P31 | 0.36 | 1385.32 | 35.98 | 25 | 0.91 |
| PL1 | 5.40 | 1346.55 | 135.40 | 75 | 1.74 |
| PL2 | 1.44 | 1314.68 | 101.00 | 40 | 1.40 |
| PL3 | 0.72 | 1317.23 | 133.30 | 32 | 1.09 |
| PL4 | 0.72 | 1328.47 | 87.14 | 32 | 1.09 |
| PM1 | 3.24 | 1343.74 | 79.67 | 63 | 1.27 |
| PN1 | 1.44 | 1315.15 | 78.86 | 40 | 1.40 |
| PN2 | 0.72 | 1309.51 | 35.60 | 32 | 1.09 |
| PM2 | 1.44 | 1338.52 | 85.54 | 40 | 1.40 |
| PM3 | 0.72 | 1282.87 | 168.00 | 32 | 1.09 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 63. Diseño con sectorización, Tuncarta derecho (parte 1).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| P2 | 13.32 | 1496.54 | 26.84 | 110 | 1.71 |
| PO1 | 13.32 | 1491.80 | 24.84 | 110 | 1.71 |
| PO2 | 13.32 | 1483.34 | 70.98 | 110 | 1.71 |
| PO3 | 13.32 | 1484.91 | 131.10 | 110 | 1.71 |
| PO4 | 13.32 | 1476.70 | 86.43 | 110 | 1.71 |
| PP1 | 1.44 | 1473.82 | 113.00 | 40 | 1.40 |
| PP2 | 1.44 | 1450.00 | 127.40 | 40 | 1.40 |
| PP3 | 1.44 | 1429.26 | 37.93 | 40 | 1.40 |
| PP4 | 0.72 | 1372.42 | 124.40 | 32 | 1.09 |
| PP5 | 0.36 | 1353.80 | 97.45 | 25 | 0.91 |
| PO5 | 11.88 | 1446.25 | 124.80 | 110 | 1.52 |
| PO6 | 0.72 | 1428.43 | 71.34 | 32 | 1.09 |
| PO7 | 0.36 | 1406.50 | 74.69 | 25 | 0.91 |
| PQ1 | 11.16 | 1434.02 | 129.10 | 110 | 1.43 |
| PQ2 | 10.44 | 1424.05 | 81.85 | 110 | 1.34 |
| PR1 | 1.44 | 1412.69 | 142.10 | 40 | 1.40 |
| PR2 | 1.08 | 1409.03 | 80.11 | 40 | 1.05 |
| PR3 | 0.72 | 1403.74 | 28.61 | 32 | 1.09 |
| PR4 | 0.72 | 1388.48 | 59.72 | 32 | 1.09 |
| PR5 | 0.72 | 1355.60 | 76.88 | 32 | 1.09 |
| PQ3 | 9.00 | 1414.36 | 129.10 | 90 | 1.73 |
| PQ4 | 1.08 | 1411.70 | 94.88 | 40 | 1.05 |
| PQ5 | 0.72 | 1416.63 | 91.93 | 32 | 1.09 |
| PQ6 | 0.36 | 1386.31 | 128.90 | 25 | 0.91 |
| PS1 | 9.00 | 1405.43 | 103.70 | 90 | 1.73 |
| PT1 | 0.72 | 1403.42 | 91.62 | 32 | 1.09 |
| PT2 | 0.36 | 1390.70 | 52.03 | 25 | 0.91 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Tabla 64. Diseño con sectorización, Tuncarta derecho (parte 2).

| Nudo | Caudal (l/s) | Cota (m) | Longitud (m) | D comercial (mm) | Velocidad (m/s) |
|------|--------------|----------|--------------|------------------|-----------------|
| PU1 | 0.72 | 1401.02 | 76.12 | 32 | 1.09 |
| PU2 | 0.36 | 1383.80 | 103.10 | 25 | 0.91 |
| PS2 | 9.00 | 1406.17 | 90.05 | 90 | 1.73 |
| PV1 | 0.36 | 1361.97 | 157.70 | 25 | 0.91 |
| PS3 | 8.64 | 1395.98 | 107.10 | 90 | 1.66 |
| PW1 | 0.36 | 1369.91 | 147.70 | 25 | 0.91 |
| PS4 | 8.28 | 1388.63 | 52.48 | 90 | 1.59 |
| PX1 | 0.72 | 1381.42 | 65.59 | 32 | 1.09 |
| PX2 | 0.36 | 1368.21 | 71.56 | 25 | 0.91 |
| PS5 | 7.92 | 1378.92 | 116.20 | 90 | 1.52 |
| PZ1 | 0.72 | 1368.26 | 68.86 | 32 | 1.09 |
| PZ2 | 0.36 | 1352.39 | 76.82 | 25 | 0.91 |
| PY1 | 0.36 | 1362.04 | 199.40 | 25 | 0.91 |
| PS6 | 6.48 | 1376.54 | 114.70 | 75 | 2.09 |
| PS7 | 6.12 | 1377.50 | 43.52 | 75 | 1.97 |
| PB'1 | 0.72 | 1375.79 | 47.80 | 32 | 1.09 |
| PB'2 | 0.72 | 1333.91 | 190.30 | 32 | 1.09 |
| PA'1 | 0.36 | 1362.74 | 161.00 | 25 | 0.91 |
| PS8 | 4.68 | 1371.89 | 130.20 | 75 | 1.51 |
| PD'1 | 0.72 | 1369.56 | 39.07 | 32 | 1.09 |
| PD'2 | 0.36 | 1363.42 | 110.61 | 25 | 0.91 |
| PC'1 | 0.72 | 1357.94 | 199.50 | 32 | 1.09 |
| PS9 | 2.88 | 1368.34 | 113.20 | 63 | 1.13 |
| PF'1 | 0.72 | 1325.03 | 195.30 | 32 | 1.09 |
| PE'1 | 0.36 | 1348.22 | 229.10 | 25 | 0.91 |
| PS10 | 2.16 | 1362.61 | 150.00 | 50 | 1.35 |
| PH'1 | 0.72 | 1309.12 | 192.70 | 32 | 1.09 |
| PG'1 | 0.36 | 1347.12 | 189.40 | 25 | 0.91 |
| PS11 | 0.72 | 1358.68 | 149.90 | 32 | 1.09 |
| PJ'1 | 0.36 | 1295.56 | 212.90 | 25 | 0.91 |
| PI'1 | 0.36 | 1346.26 | 184.60 | 25 | 0.91 |

Fuente: Córdoba, 2015.

Anexo H – Tipos de aspersores para las redes.

Aspersor para redes a la demanda:

Precio: \$ 15,70



Figura 52. Aspersor Senninger auto-regulador de presión.
Fuente: PLASTIGAMA, 2014.

Tabla 65. Características Senninger auto-regulador de presión.

| SENNINGER REGULADOR DE PRESIÓN |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Mantienen una presión de salida constante aún con presiones de entrada mayores de 85 mca, no necesita ajuste. |
| De construcción fuerte y duradera. |
| <ul style="list-style-type: none">• Es un verdadero regulador de presión y no un controlador de caudal. |
| <ul style="list-style-type: none">• 7 mca, caudal de de 0.63 a 2.32 L/s (para cintas de riego). Conexión rosca 1 ¼" (entrada) y hembra 1" (salida). |
| 14 y 28 mca, caudal de 0.073 a 0.73 L/s (para aspersores), |
| <ul style="list-style-type: none">• Conexión rosca hembra ¾" |
| <ul style="list-style-type: none">• Pueden ser instalados sobre o bajo tierra. |

Fuente: PLASTIGAMA, 2014.

Aspersores para Sector 1:

Precio: \$7,35



Figura 53. Aspersor Naan 501u.
Fuente: NAANDANJAIN IRRIGATION, 2015.

Tabla 66. Características Naan 501-U

| |
|---|
| Naan 501-U |
| Aspersor Turbo-Martillo de Baja Capacidad y Gran Alcance |
| Excelente para la distribución del riego en cultivos de hortalizas, parques y jardines. |
| • Conexión hembra de ½". Peso: 39 gr. |
| • Fabricación en plástico para tareas pesadas. |
| • Turbo conector de latón y eje de acero inoxidable. |
| • Protección completa contra la arena. |
| • Exclusivo sistema de Turbomartillo, asegura uniformidad de riego. |
| • Caudales muy bajos y rocío fino para plantas delicadas. |
| • Espaciamiento entre aspersores: hasta 16.0 metros. |
| • Presión operacional: entre 5 y 15 Mpa |

Fuente: NAANDANJAIN IRRIGATION, 2015.

Aspersores para Sector 2:

Precio: \$ 9,75



Figura 54. Aspersor Naan 5022.
Fuente: NAANDANJAIN IRRIGATION, 2015.

Tabla 67. Características Naan 5022.

| |
|--|
| Naan 5022 |
| Aspersor de Baja Capacidad para |
| Uso General |
| • Conexión macho de ½". Peso: 50 gr. |
| • Fabricado con plástico para tareas pesadas. |
| • Sólida estructura de diseño innovador. |
| • Eje y resortes de acero inoxidable. |
| • Nuevo modelo de protección totalmente confiable a prueba de arena y polvo. |
| • Boquillas simples o dobles. |
| • Boquillas - en código de colores - con acople bayoneta. |
| • Distribución uniforme a caudales muy bajos. |
| • Alineador de chorro incorporado. |
| • Espaciamiento entre aspersores: hasta 15.0 metros. |
| • Presión operacional: entre 15 y 40 mca. |

Fuente: NAANDANJAIN IRRIGATION, 2015.

Aspersores para Sector 3:

Precio: \$ 13,50



Figura 55. Aspersor Naan 5035.
Fuente: NAANDANJAIN IRRIGATION, 2015.

Tabla 68. Características Naan 5035.

| Naan 5035 |
|---|
| Aspersor de Plástico de Mediana |
| Capacidad para Tareas Pesadas |
| Para todos los cultivos a campo y riego supra-arbóreo. |
| • Conexión macho de ¾". Peso: 105 gr. |
| • Ejes y resortes de acero inoxidable. |
| • Protección contra arena y polvo. |
| • Boquillas de bayoneta de plástico. |
| • Boquillas con alineadores de chorro integrados. |
| • Funcionamiento con baja presión que otorga mayor rendimiento. |
| • Espaciamiento entre aspersores: hasta 18.0 metros. |
| • Presión operacional: entre 30 y 80 mca. |

Fuente: NAANDANJAIN IRRIGATION, 2015.