



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

“Funciones de coste asociadas a elementos de una red hidráulica presurizada”

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORA: Aguirre Granda, Jenny Alexandra

DIRECTORA: Lapo Pauta, Carmen Mireya, MSc.

LOJA-ECUADOR

2015

APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Máster.

Carmen Mireya Lapo Pauta.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: “**Funciones de coste asociadas a elementos de una red hidráulica presurizada**” realizado por: Aguirre Granda Jenny Alexandra ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Julio del 2015

Carmen Mireya Lapo Pauta, MSc.

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo Aguirre Granda Jenny Alexandra declaro ser autor (a) del presente trabajo de titulación: **“Funciones de coste asociadas a elementos de una red hidráulica presurizada”**, de la Titulación de Ingeniero Civil, siendo Carmen Mireya Lapo Pauta MSc. 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).....

Autora: Aguirre Granda Jenny Alexandra

Cédula: 1104873706

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

Dios por ser mi guía y fortaleza para seguir adelante

A mis padres Julio y Norma, por su apoyo constante e incondicional durante mi preparación profesional.

A mis hermanos Luis, Jérica y Norma, por ser mi aliento y motivo para seguir superándome.

A todos mis familiares y amigos que de una u otra manera estuvieron apoyándome.

Jenny

AGRADECIMIENTO

Dejo constancia de mi más sincero agradecimiento primeramente a Dios por ser mi fortaleza, a la MSc. Carmen Mireya Lapo Pauta, Directora de Tesis, por la ayuda brindada en la ejecución del presente trabajo, a los docentes de la titulación de Ingeniería Civil por los conocimientos impartidos durante mi formación profesional y al personal de la UMAPAL (Unidad Municipal de agua potable y alcantarillado) por su ayuda y colaboración.

La autora

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. GENERALIDADES.....	3
1.1 Introducción.....	4
1.2 Objetivos.....	5
1.2.1 General.....	5
1.2.2 Específicos.....	5
1.3 Justificación.....	5
2. ESTADO DEL ARTE.....	6
2.1 Criterios técnico económico en el diseño de redes hidráulicas de distribución.....	7
2.2 Estimación de costes.....	9
2.3 Funciones de coste de elementos de una red.....	9
2.3.1 Costes en tuberías.....	9
2.3.2 Costes en bombas.....	11
2.3.3 Costes en depósitos.....	12
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	13
3.1 Redes hidráulicas presurizadas.....	14
3.2 Tipología de redes presurizadas.....	15
3.3 Redes de riego.....	16
3.3.1 Tipos de sistemas de riego.....	16
3.3.2 Elección de los métodos de riego.....	17
3.3.3 Caudales en sistemas de riego.....	17
3.3.4 Modalidades para el manejo de los caudales entregados.....	18
3.4 Elementos que constituyen una red de distribución.....	18
3.4.1 Tuberías.....	19
3.4.2 Bombas.....	20
3.4.3 Depósitos de reserva.....	23
3.5 Diseño hidráulico de la red de riego.....	24
3.5.1 Ubicación de los hidrantes.....	24
3.5.2 Trazado de la red.....	24
3.5.3 Determinación de los caudales circulantes por las líneas de toda la red.....	25
4 METODOLOGÍA.....	27
5 CASO DE ESTUDIO.....	29
5.1 Ubicación.....	30

5.2	Beneficiarios	30
5.3	Área del proyecto.....	30
5.4	Diseño de red a la demanda	33
5.4.1	Dotación de riego.....	33
5.4.2	Probabilidad elemental	34
5.4.3	Caudales por línea cuando se calculan las dotaciones por cada parcela.....	34
5.5	Diseño de red por turnos.....	35
6	CÁLCULO TIPO EN LOS RAMALES DE LA RED	36
6.1	Cálculo tipo de los caudales de Clément en el ramal sectorial II	37
6.1.1	Grado de libertad de la red (GL):	37
6.1.2	Rendimiento de la red (r):	37
6.1.3	Caudal ficticio de diseño (Qf):	37
6.1.4	Dotación por parcela (dparcela):	38
6.1.5	Probabilidad (p):	38
6.1.6	Varianza en el nudo:	38
6.1.7	Caudal medio en el nudo:	38
6.1.8	Caudal acumulado:	38
6.1.9	Caudal de Clément:	39
6.2	Cálculo hidráulico del ramal Sectorial II (diseño a la demanda)	39
6.2.1	Diámetro económico con la ecuación de Mannesman Rohren Werke	39
6.2.2	Velocidad.....	39
6.2.3	Pérdidas por Darcy- Weisbach	39
6.2.4	Pérdidas por accesorios	40
6.2.5	Sobrepresión por Golpe de Ariete.....	41
6.3	Cálculo tipo de caudales por turnos de riego en el ramal sectorial I.....	43
6.3.1	Dotación de riego.....	43
6.3.2	Cálculo hidráulico del ramal sectorial I (diseño por turnos)	43
7	MODELACIÓN Y DISEÑO DE LA RED EN ESTUDIO EN LOS PROGRAMAS EPANET Y DIOPRAM.....	44
7.1	Software Diopram	45
7.2	Software Epanet	47
8	RESULTADOS Y SU ANÁLISIS	55
8.1	Curvas de coste obtenidas en tuberías.....	56
8.2	Curvas de coste obtenidas en bombas	60
8.3	Curvas de coste obtenidas en depósitos.....	61
8.4	Diseño de los ramales de la red en la modalidad de riego a la demanda y por turnos (Método analítico o sin funciones de costo)	62
8.5	Diseño de la red y ramal sectorial II a la demanda, mediante el software Diopram.....	66
8.6	Modelación del ramal sectorial I diseñado por turnos en periodo estacionario en el software Epanet	67

8.7	Modelación del ramal sectorial I diseñado por turnos en periodo extendido en el software Epanet	68
8.8	Modelación del ramal sectorial II diseñado a la demanda en periodo estacionario en el software Epanet.....	69
8.9	Modelación del ramal sectorial II diseñado a la demanda en periodo extendido en el software Epanet.....	70
8.10	Gráfica de balance de caudales.....	70
8.11	Curvas de evolución temporal.....	70
8.12	Gráficas de frecuencia	71
8.13	Gráficas del consumo energético.....	71
8.14	Presupuesto referencial en los ramales sectorial I y sectorial II de la red con bomba método analítico y utilizando funciones de costo	72
8.15	Presupuesto referencial en los ramales sectorial I y sectorial II de la red utilizando un depósito superficial, método analítico y utilizando funciones de costo	74
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
9.1	Conclusiones	79
9.2	Recomendaciones	80
10	BIBLIOGRAFÍA	81
11	ANEXOS	84

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esquema de la red de riego del proyecto del barrio Patuco. -----	14
Ilustración 2. Esquema de la topología de una red de distribución. -----	14
Ilustración 3. Tipología de las redes de abastecimiento. -----	15
Ilustración 4. Elementos que componen una red de distribución de riego. -----	19
Ilustración 5. Tubería.-----	19
Ilustración 6. Comportamiento de la máquina hidráulica como un transformador energético. -----	20
Ilustración 7. Principio de funcionamiento de una máquina de desplazamiento positivo. ----	22
Ilustración 8. Clasificación de las turbo máquinas. -----	23
Ilustración 9. Mapa Limítrofe de la Parroquia Cruzpamba. -----	30
Ilustración 10. Estación de bombeo Clodoveo Jaramillo Alvarado.-----	32
Ilustración 11. Depósito de reserva del barrio San Cayetano. -----	33
Ilustración 12. Ingreso de datos en el software Diopram. -----	45
Ilustración 13. Coste total sin IVA, obtenido al diseñar el ramal Sectorial II, utilizando tubería PLASTIGAMA (E/C). -----	46
Ilustración 14. Costo total sin IVA, obtenido al diseñar la red completa utilizando tubería PLASTIGAMA (E/C). -----	46
Ilustración 15. Esquema del ramal sectorial II de la red en el software Epanet.-----	47
Ilustración 16. Datos del emisor ingresados en el software Epanet. -----	49
Ilustración 17. Curva característica de la bomba Ideal APM- 50- 50 HZ, utilizada en la red diseñada a la demanda. -----	50
Ilustración 18. Curva característica de la bomba Ideal APM- 50- 50 HZ, en el ramal diseñado a la demanda. -----	50
Ilustración 19. Curva característica de la bomba Ideal APM – 50- 50HZ, en la modalidad de riego por turnos. -----	51
Ilustración 20. Informe energético en la red diseñada a la demanda para una altura de bombeo de 10 metros, en periodo estacionario.-----	51
Ilustración 21. Informe energético del ramal diseñado a la demanda para una altura de bombeo de 10 metros, en periodo estacionario.-----	52
Ilustración 22. Informe energético en la red diseñada a la demanda para una altura de bombeo de 10 metros en periodo extendido.-----	52
Ilustración 23. Informe energético del ramal diseñado a la demanda para una altura de bombeo de 10 metros en periodo extendido.-----	52
Ilustración 24. Esquema del ramal sectorial I de la red en Epanet.-----	53
Ilustración 25. Informe energético del ramal diseñado por turnos para una altura de bombeo de 10 metros, en periodo estacionario. -----	54
Ilustración 26. Informe energético del ramal diseñado por turnos para una altura de bombeo de 10 metros en periodo extendido. -----	54
Ilustración 27. Funciones de coste para tuberías de Polietileno.-----	56
Ilustración 28. Funciones de coste para tuberías PRFV.-----	56
Ilustración 29. Funciones de coste para tuberías PLASTIGAMA (U/Z). -----	57
Ilustración 30. Funciones de coste para tuberías de Espiga Campana.-----	57
Ilustración 31. Funciones de coste para tuberías de Fibrocemento. -----	58
Ilustración 32. Funciones de coste en bombas. -----	60
Ilustración 33. Funciones de coste en depósitos. -----	62
Ilustración 34. Comparación de costes en diferentes tipos de tuberías, método analítico. --	64
Ilustración 35. Costos en diferentes tipos de tuberías, modalidad de riego por turnos -----	65
Ilustración 36. Comparación de costes en diseño a la demanda, método analítico y funciones de coste. -----	65
Ilustración 37. Perfil longitudinal de presión en el ramal Sectorial I, en la modalidad de riego por turnos.-----	67
Ilustración 38. Curva de modulación para el turno 1. -----	68
Ilustración 39. Curva de modulación para el turno 2. -----	69

Ilustración 40. Perfil longitudinal de presión en el ramal Sectorial II, en la modalidad de riego a la demanda. -----	69
Ilustración 41. Curva de evolución temporal de la presión en la modalidad de riego por turnos. FUENTE. LA AUTORA-----	70
Ilustración 42. Consumo energético en dólares para una altura de bombeo de 10 metros en los ramales de la red y la red completa. -----	71
Ilustración 43. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando bomba de 15 Kw, sin funciones de costo.-----	73
Ilustración 44. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando bomba de 15 Kw con funciones de coste.-----	74
Ilustración 45. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando un depósito superficial, sin funciones de costo.-----	76
Ilustración 46. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando depósito superficial con funciones de coste.-----	77
Ilustración 47. Esquema de topografía del Proyecto de riego del Barrio Patuco. -----	90
Ilustración 48. Esquema de topología de la red del Proyecto de riego del Barrio Patuco. ---	91
Ilustración 49. Datos climáticos del sector ingresados en el software Cropwat.-----	92
Ilustración 50. Precipitaciones mensuales ingresadas en el software Cropwat.-----	92
Ilustración 51. Datos de maíz en grano ingresados en el software Cropwat. -----	93
Ilustración 52. Datos de cebolla verde ingresados en el software Cropwat.-----	93
Ilustración 53. Datos de frejoles ingresados en el software Cropwat.-----	93
Ilustración 54. Datos de maní ingresados en el software Cropwat.-----	94
Ilustración 55. Ingreso de datos del suelo en el software Cropwat. -----	94
Ilustración 56. Patrón de cultivos ingresados en el software Cropwat. -----	94
Ilustración 57. Caudal ficticio continuo obtenido del software Cropwat. -----	95
Ilustración 58. Informe del Software Diopram del ramal sectorial II utilizando material Plastigama (E/C).-----	98
Ilustración 59. Simulación del ramal Sectorial I en Epanet. -----	126
Ilustración 60. Simulación del ramal Sectorial II en Epanet.-----	127
Ilustración 61. Simulación de la red completa en Epanet. -----	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los costes de una red de distribución -----	7
Tabla 2. Tipos de sistemas de riego -----	16
Tabla 3. Factores que favorecen la elección del método de riego-----	17
Tabla 4. Características de materiales de tuberías-----	20
Tabla 5. Depósitos según la posición del terreno-----	24
Tabla 6. Garantía de Suministro -----	25
Tabla 7. Calidad de operación $U(P_q)$ -----	26
Tabla 8. Características de las estaciones de bombeo de la ciudad de Loja -----	31
Tabla 9. Características de los depósitos de reserva de la ciudad de Loja-----	32
Tabla 10. Turnos de riego -----	43
Tabla 11. Presiones de trabajo del aspensor WOBBLER -----	48
Tabla 12. Costos en tuberías PLASTIGAMA (E/C) en metros, en el ramal sectorial II diseñado a la demanda -----	63
Tabla 13. Costos en tuberías PLASTIGAMA (E/C) en metros, en el ramal sectorial I diseñado por turnos-----	63
Tabla 14. Costos de otros tipos de tuberías utilizados en la modalidad de riego a la demanda como por turnos, método analítico-----	63
Tabla 15. Costos en diferentes tipos de tuberías, modalidad de riego por turnos -----	64
Tabla 16. Costos en diferentes tipos de tuberías, modalidad de riego a la demanda-----	65
Tabla 17. Costos en tuberías en metros, en la red completa diseñada a la demanda en el software Diopram, material (E/C)-----	66
Tabla 18. Costos en tuberías en metros en el ramal sectorial II diseñado a la demanda en el software Diopram material (E/C) -----	66
Tabla 19. Costos en tuberías del ramal Sectorial II en la modalidad de riego a la demanda en el software Diopram -----	67
Tabla 20. Presupuesto referencial del ramal diseñado por turnos utilizando una bomba de 15 Kw sin funciones de costo -----	72
Tabla 21. Presupuesto referencial del ramal de la red diseñado a la demanda utilizando una bomba de 15 Kw, sin funciones de costo-----	73
Tabla 22. Presupuesto referencial, en los ramales de la red utilizando bomba de 15 Kw, sin funciones de costo -----	73
Tabla 23. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando bomba de 15 Kw con funciones de coste -----	74
Tabla 24. Presupuesto referencial en el ramal de la red diseñado por turnos, utilizando un depósito superficial, sin funciones de costo -----	75
Tabla 25. Presupuesto referencial en el ramal de la red diseñado a la demanda, utilizando un depósito superficial, sin funciones de costo -----	75
Tabla 26. Presupuesto referencial, en los ramales de la red utilizando un depósito superficial, sin funciones de costo -----	76
Tabla 27. Presupuesto referencial incluido IVA, en los ramales de la red utilizando un depósito superficial con funciones de costo -----	76
Tabla 28. Diámetros y precios de tuberías de Polietileno-----	84
Tabla 29. Diámetros y precios de tubería de PRFV -----	85
Tabla 30. Diámetros y precios de tuberías RIVAL para agua a presión, U/Z -----	86
Tabla 31. Diámetros y precios de tuberías RIVAL presión ESPIGA CAMPANA -----	88
Tabla 32. Diámetros y precios de tuberías de FIBROCEMENTO -----	89
Tabla 33. Costes unitarios en tuberías PLASTIGAMA (E/C)-----	107
Tabla 34. Costes unitarios en tuberías RIVAL (U/Z) -----	107
Tabla 35. Costes unitarios en tuberías de FIBROCEMENTO -----	109
Tabla 36. Costes unitarios en tuberías de PRFV -----	110
Tabla 37. Costes unitarios en tuberías PLASTIGAMA (E/C)-----	111
Tabla 38. Costes unitarios en tuberías RIVAL (U/Z) -----	112

Tabla 39. Costes unitarios en tuberías de FIBROCEMENTO -----	114
Tabla 40. Costes unitarios en tuberías de POLIETILENO -----	115
Tabla 41. Costes unitarios en tuberías de PRFV -----	116
Tabla 42. Costes unitarios en tuberías PLASTIGAMA (E/C)-----	117
Tabla 43. Costes unitarios en tuberías RIVAL (U/Z) -----	118
Tabla 44. Costes unitarios en tuberías de FIBROCEMENTO -----	119
Tabla 45. Costes unitarios en tuberías de POLIETILENO -----	121
Tabla 46. Costes unitarios en tuberías PRFV -----	121
Tabla 47. Costes de suministro e instalación de tuberías PLASTIGAMA (E/C) -----	123
Tabla 48. Costes de suministro e instalación de tuberías PRFV-----	123
Tabla 49. Costes reales en bombas -----	124
Tabla 50. Costes unitarios de bombas -----	124
Tabla 51. Costes de operación de bombas -----	125
Tabla 52. Precios y volúmenes en depósitos -----	125
Tabla 53. Costes de construcción en depósitos-----	126

RESUMEN

Con el fin de conocer qué tan económico resulta diseñar un sistema de red hidráulica presurizada de acuerdo al costo de los elementos que intervienen en el mismo, se realiza el presente trabajo investigativo en el cual se busca obtener las curvas con las funciones de costo de algunos de los elementos más importantes de una red como son tuberías, bombas y depósitos tomando en cuenta varios escenarios para cada uno, tanto por el gran peso que representan en los costos como por su protagonismo principal en la operación de una red. De esta manera se pretende definir el presupuesto de una red de riego usando funciones de coste de materiales que intervienen en ella, para lo cual se usará los costes reales de tuberías, bombas y depósitos de redes de riego que se encuentren funcionando o en fase de financiamiento. Con la información obtenida se simulará una red de riego presurizada utilizando software libre, para conocer velocidades, presiones y el comportamiento hidráulico de la red.

PALABRAS CLAVES: red hidráulica, criterio económico, función de costo.

ABSTRACT

In order to know how economic is designing a system of water mains pressurized according to the cost of the elements involved in it, the present research work in which it seeks to get the curves with cost functions performed some of the most important elements of a network such as pipes, pumps and reservoirs considering various scenarios for each, hence the considerable weight of costs and its main role in the operation of a network.

Thus we define the budget of an irrigation network using cost functions of materials involved in it, for which the actual costs of pipes, pumps and tanks for irrigation networks that are to be used in operation or under financing. With the information obtained an irrigation network will be simulated pressurized using free software, to meet speeds, pressures and hydraulic network behavior.

KEYWORDS: hydraulic network, economic criteria, cost function.

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción.

Para estimar el diseño económico de una red hidráulica se hace necesario evaluar el costo de los elementos que intervienen o más exactamente de las funciones de costo relacionadas a dichos elementos que relacionan la capacidad funcional de los mismos en referencia a uno o varios parámetros de diseño.

Las funciones de coste según (Pérez 1993) están sometidas a tres tipos de influencia, funcional, sistemático y aleatorio. La influencia funcional determina la estructura de la función que relaciona el coste del elemento con los parámetros que lo caracterizan. Las influencias sistemática y aleatoria intervienen en el valor de los coeficientes de la función aunque en general no modifican la estructura de la misma. Por ejemplo, si se considera la función de coste de una tubería, el material de la misma o el tipo de moneda al que se refiere el costo son factores sistemáticos, mientras que las fluctuaciones del precio de mercado de la misma es un factor de tipo aleatorio. La validez de los resultados que se obtengan en la optimización dependerá de cuan realista resulte la estimación.

Mencionan Pérez et al. (2005) que el diseño económico de redes parte de la premisa de que para reunir un conjunto de requisitos funcionales, es posible establecer múltiples soluciones técnicamente viables y correctas, y de todas ellas la “mejor” será aquella que represente un costo mínimo.

1.2 Objetivos.

1.2.1 General

- Determinar las funciones de coste asociadas a elementos que integran una red hidráulica presurizada.

1.2.2 Específicos

- Obtener una base de datos de materiales empleados en sistemas de riego (tuberías, bombas, depósitos)
- Analizar las funciones de coste de elementos de una red a presión.

1.3 Justificación.

Con la definición de las funciones de costo obtenidas en la presente investigación se pretende contar con una base de datos que permitan obtener coeficientes de las funciones de costo de los elementos constitutivos de una red de riego a presión considerando los costos locales de los elementos que componen la misma.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Criterios técnico económico en el diseño de redes hidráulicas de distribución.

Mencionan (Arviza, Balbastre & González, 2002) toda solución a un problema de ingeniería debe llevar asociado un coste, el mismo que deberá ser asumido y compatible con la realidad socioeconómica existente y en base a ellos adoptar aquella solución que se considera la mejor.

Arviza et al. (2002) y Pérez et al. (2005), clasifican a los costes en dos grandes grupos: costes de construcción y costes de operación.

Tabla 1. Clasificación de los costes de una red de distribución

Costes de construcción (Costes fijos)	Tuberías	
	Accesorios	Acoplamientos
		Juntas y valvulería
	Obra civil	Excavación
		Relleno, asentamiento
		Depósitos
	Instalaciones	Estaciones de bombeo
		Sistemas de control y regulación
		Seguridad
	Costes de Operación (Costes Variables)	Energéticos
Mantenimiento		
Personal		

FUENTE. "Flujo estacionario de fluidos incompresibles en tuberías" (Pérez, Iglesias, & Fuertes 2005).

Los costes de instalación cubren la construcción y puesta en marcha de la red, mientras que los costes de explotación corresponden a las cantidades devengadas periódicamente para mantener el funcionamiento del sistema en las condiciones de servicio (Pérez et al. 2005).

Las leyes de la economía según (Pérez et al. 2005) determinan que una cierta cantidad de dinero en el momento presente tiene más valor que la misma cantidad cuando ha transcurrido un período de tiempo. El dinero proporciona beneficios durante el tiempo que ha sido invertido y es un recurso más que se utiliza para obtener otros recursos. El interés que debe pagarse por el dinero prestado es el precio de dicho recurso.

Una cantidad C en el presente es equivalente a una cantidad futura C'' al cabo de T años y al interés r'', igual a:

$$C'' = (1 + r'')^T \cdot C \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

C'' cantidad futura

r'' interés

C cantidad actual

T tiempo en años

El efecto de la inflación interviene en proyectos a medio y largo plazo, puesto que los costes de operación se ven incrementados periódicamente.

$$G'' = (1 + s'')^T \cdot G \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

G'' cantidad en el futuro

s'' tasa de inflación

T tiempo en años

G: cantidad en el momento presente

Menciona (Pérez et al. 2005) la amortización es el proceso por el cual los bienes pierden valor a lo largo de su vida útil. Para distribuir el coste de la inversión inicial en costes anuales que puedan ser comparados con los costes anuales de operación se utiliza el factor de amortización a_t , el cual representa el coste anual de amortización de una inversión producida en el año 0 igual a una unidad monetaria y que se amortiza a lo largo de T años a una tasa de interés r.

De aquí se deduce el valor del factor de amortización:

$$a_t = \frac{(1+r)^T \cdot r}{(1+r)^T - r} \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde:

a_t factor de amortización

r interés

T tiempo en años

Para calcular el factor de amortización se utilizan dos parámetros fundamentales, el período de vida T del proyecto y la tasa de interés r de la amortización.

2.2 Estimación de costes.

Diferentes autores cifran que el coste del material asociado a las conducciones (tuberías + obra civil) están entre el 75 y el 80% del total de la inversión. En cuanto a los costes de explotación, el coste energético puede llegar a ser el más significativo, sobre todo en el caso de existir instalaciones de bombeo (Trapote, 2013).

2.3 Funciones de coste de elementos de una red.

2.3.1 Costes en tuberías.

Mencionan (Agua, 1997) y (Briti, Ajeet, Pallave & Preetam, 2013) el costo de suministro de la tubería y su colocación C_T , se obtendrá a partir de C_1 que es el costo por unidad de diámetro y longitud (incluye la tubería, la excavación de las zanjas en su caso y su posterior colocación).

$$C_T = C_1 \cdot D \cdot L \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

C_1 costo de suministro e instalación por unidad de diámetro y longitud (\$/m)

L longitud de la conducción (m)

D diámetro de la conducción (pulg.)

Varios autores (Arviza et al. 2002) (Srbislav, Branislav, & Vojislav, 2011) (Swamee & Sharma, 2008) indican que los costes de instalación de tuberías son valores que no se refieren a ningún período. Por lo tanto, para componer la función de costes se consideran los costes anuales de amortización de la instalación de tuberías.

$$C_t = L \cdot A \cdot D^a \quad \text{Ec. 5}$$

Dónde:

C_t coste de la tubería (\$/m)

L longitud de la tubería (m)

A constante que depende del material de la conducción, presión de trabajo, etc.

D diámetro de la conducción (m)

a constante que depende del material está comprendido entre 1 y 2

Mencionan (Pérez et al. 2005) (Trapote 2013), los costes de construcción (adquisición+ transporte + instalación) de una conducción puede aproximarse a la expresión:

$$C_c = (A_1 + A_2 \cdot D^a) \cdot L \quad 1 < a < 2 \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

C_c coste de construcción (\$/m)

A_1 , A_2 y a constantes que dependen del material de la conducción, presión de trabajo, etc; (coeficientes del ajuste)

D diámetro de la conducción (m)

L longitud de la tubería (m)

Varios autores (Mora, 2007) (Heaney, Sample & Wright) indican que la función de costo unitario de tuberías se puede ajustar a la siguiente expresión:

$$C_t = a \cdot (x)^b \quad \text{Ec. 7}$$

Dónde:

C_t costo unitario de tuberías (\$/m)

a es el valor de ajuste para llevar la función de un tipo de excavación a otro, toma valores comprendidos entre (1.31 a 3.28) se toma el valor mayor para tener un valor más aproximado del costo.

x es el diámetro de la conducción (pulg.)

b define la sensibilidad de la función de costo con respecto al diámetro del tubo, toma valores comprendidos entre (1.2 y 1.8), se toma el valor mayor para tener un valor más aproximado del costo.

Menciona (Méndez, 2007) el costo total de la tubería propiamente dicha, una vez seleccionado su tipo, se puede expresar con la función:

$$C_{TT} = f(D \cdot e \cdot L) \quad \text{Ec. 8}$$

Dónde:

C_{TT} costo total de la tubería (\$/m)

D diámetro del conducto (pulg)

e espesor del conducto (mm)

L longitud del conducto (m)

2.3.2 Costes en bombas.

Para evaluar el coste de construcción de una estación de bombeo (EB), el parámetro más significativo es la potencia instalada W (Pérez et al. 2005) (Trapote, 2013).

$$C_c = (A_1 + A_2 \cdot W^a) \quad 0 < a < 1 \quad \text{Ec. 9}$$

Dónde:

C_c coste de construcción (\$)

W potencia total instalada (Kw)

A_1 , A_2 y a constantes que dependen de la instalación y del equipo de bombeo (coeficientes del ajuste)

Afirman (Pérez et al. 2005) (Trapote, 2013) que el coste de operación de una estación de bombeo consta de dos partes: de los costes derivados de su mantenimiento y conservación, y del coste correspondiente a la facturación electrónica anual.

$$C_o = (A_3 \cdot W + A_4 \cdot W_m \cdot t_m) \quad \text{Ec. 10}$$

Dónde:

C_o coste de operación (\$)

A_3 coste anual de un KW instalado

W potencia instalada (Kw)

A_4 coste de KW consumido (\$)

W_m potencia media consumida (Kw)

t_m tiempo medio de utilización anual (h)

Según (Nárvaez & Galeano) para una condición de operación dada, el costo total de bombeo (C_{AB}) por unidad de tiempo, está dado por la siguiente expresión:

$$C_{AB} = E_B \cdot C_e \quad \text{Ec. 11}$$

$$E_B = P \cdot t \quad \text{Ec. 12}$$

Dónde:

C_{AB} Costo total del bombeo (\$)

E_B Energía consumida por la bomba

C_e Costo del (Kw/h)

P Potencia de la bomba (Kw)

T Tiempo de operación de la bomba (h/año)

2.3.3 Costes en depósitos.

Varios autores (Pérez et al. 2005) (Trapote, 2013) indican que el coste de construcción de un depósito depende principalmente de su volumen (en el caso de depósitos elevados la altura también influye decisivamente).

$$C = A \cdot V^a \quad 0 < a < 1 \quad \text{Ec. 13}$$

Dónde:

C coste de construcción del depósito (\$)

A y a constantes que dependen del volumen y construcción del depósito (coeficientes del ajuste)

V volumen del depósito (m^3)

Según (Swamee et al. 2008) la función de costo de un reservorio de concreto se lo puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$C_R = \frac{290 \cdot VR}{[1 + (\frac{VR}{1100})^{5.6}] \cdot 1^{0.075}} \quad \text{Ec. 14}$$

Dónde:

VR es el volumen o capacidad del reservorio (m^3).

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Redes hidráulicas presurizadas.

Una red de distribución hidráulica puede considerarse como el conjunto de elementos, (tuberías, bombas, válvulas, depósitos, etc.), empleados para llevar el agua desde los puntos de captación hasta los puntos de consumo (Iglesias, 2003).

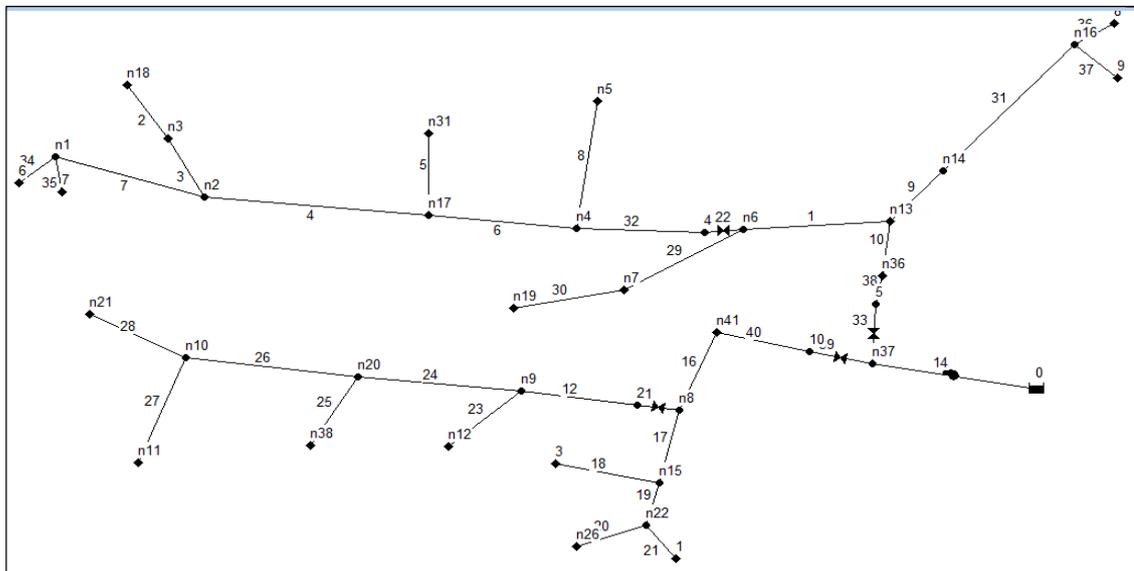


Ilustración 1. Esquema de la red de riego del proyecto del barrio Patuco.

FUENTE. LA AUTORA

Mencionan (Pérez et al. 2005) que una red de distribución de agua no consiste solamente en suministrar el fluido al usuario, sino que, el suministro debe satisfacer condiciones de servicio tanto de calidad (INEN 1108) como de cantidad.

El aspecto topológico (estructura topológica) de una red de distribución está constituida por nudos y líneas (Pérez et al. 2005).

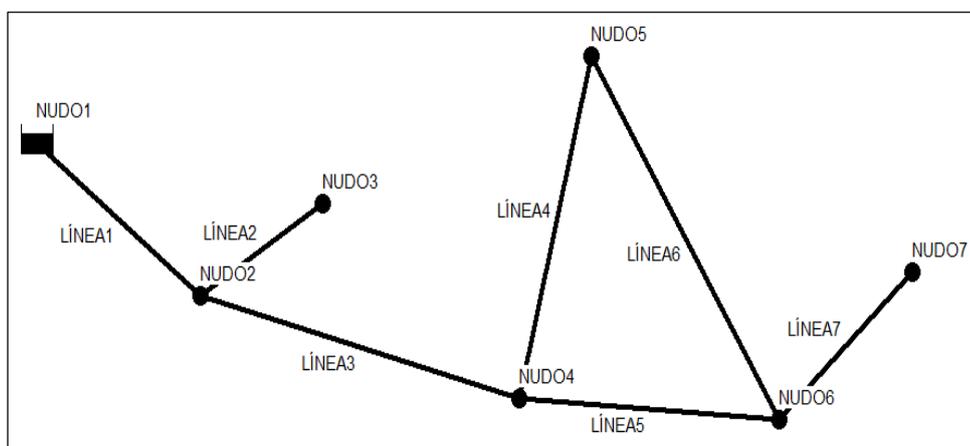


Ilustración 2. Esquema de la topología de una red de distribución.

FUENTE. "Flujo estacionario de fluidos incompresibles en tuberías" (Pérez, Iglesias & Fuertes, 2005).

3.2 Tipología de redes presurizadas.

En cuanto a las redes de abastecimiento (Saldarriaga, 1998) clasifica a las redes de acuerdo con sus configuraciones básicas en tres tipos:

- Redes ramificadas o abiertas
- Redes malladas o cerradas
- Redes dendríticas o de riego.

(García & Iglesias, 2003) clasifica a las redes según su topología en los siguientes tipos:

- . Redes ramificadas
- . Redes malladas
- . Redes mixtas

Seguidamente se presenta un esquema con la clasificación de las redes de abastecimiento:

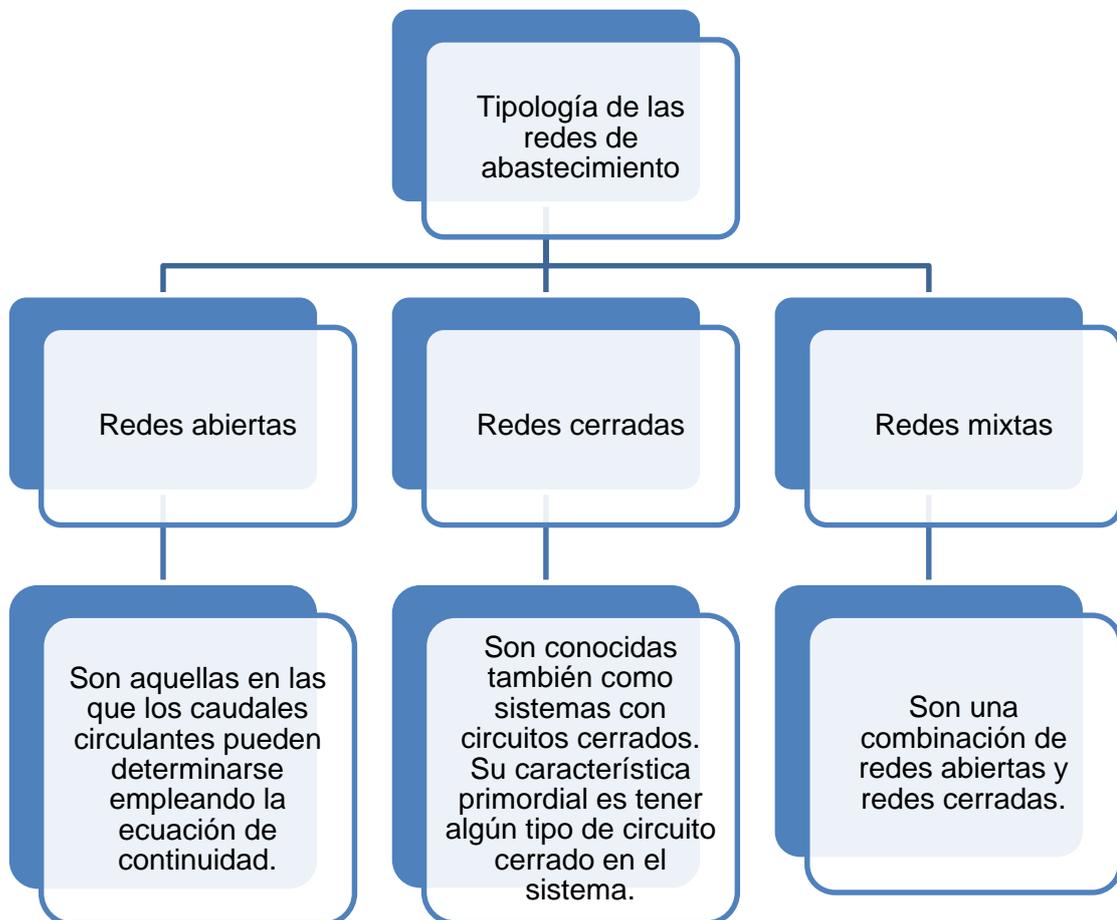


Ilustración 3. Tipología de las redes de abastecimiento.

FUENTE. “Hidráulica de tuberías, Abastecimiento de agua, redes, riego” (Saldarriaga, 1998).

3.3 Redes de riego.

Este tipo de redes se utiliza en los sistemas de riego a presión, en particular en riego localizado de alta frecuencia. Al igual que en las redes abiertas, las de riego tampoco tienen circuitos cerrados, pero a diferencia de aquellas, las tuberías se separan constantemente para cubrir todo el terreno que debe irrigarse (Saldarriaga, 1998).

3.3.1 Tipos de sistemas de riego.

Existen cuatro tipos de sistemas de riego: riego californiano, riego por goteo, riego por aspersión y el riego por micro aspersión (Gaete, 2001).

Tabla 2. Tipos de sistemas de riego

Riego Californiano	Consiste en la conducción y distribución del agua mediante el uso de redes de tuberías, desde la fuente hasta el terreno a regar.
Riego por goteo	Radica en transportar el agua a través de una extensa red de tuberías hasta cada planta por emisores en forma de gotas.
Riego por aspersión	Se caracteriza por aplicar el agua en forma de lluvia a través de pequeños orificios, necesitando de considerables presiones, obtenidas por equipos de bombeo o por grandes desniveles.
Riego por micro aspersión	Gravita en la aplicación del agua de riego como una lluvia de gotas finas a baja altura mediante el uso de emisores llamados micro aspersores.

FUENTE. "Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado" (Gaete 2001).

3.3.2 Elección de los métodos de riego.

La elección de los métodos de riego está impuesta por un gran número de factores, los mismos que se resumen a continuación (Santos, De Juan Valero, Picornell, & Tarjuelo, 2010).

Tabla 3. Factores que favorecen la elección del método de riego

Factores	Riego de superficie	Aspersión	Riego localizado
Precio del agua	Bajo	Medio	Alto
Suministro del agua	Irregular	Regular	Continuo
Disponibilidad del agua	Abundante	Media	Limitada
Pureza del agua	No limitante	Sin sólidos	Elevada
Capacidad de infiltración del suelo	Baja a media	Media a alta	Cualquiera
Capacidad de almacenamiento del suelo	Alta	Media a baja	No limitante
Topografía	Plana y uniforme	Relieve suave	Irregular
Sensibilidad al déficit hídrico	Baja	Moderado	Alta
Valor de la producción	Bajo	Medio	Alto
Coste de la mano de obra	Bajo	Medio	Alto
Coste de la energía	Alto	Bajo	Moderado
Disponibilidad del capital	Baja	Media a alta	Alta
Exigencia en tecnología	Limitada	Media a alta	Elevada

FUENTE. “El riego y sus tecnologías” (Santos, De Juan Valero, Picornell & Tarjuelo, 2010).

3.3.3 Caudales en sistemas de riego.

1. Caudal ficticio continuo

Menciona (Pérez, 2011) el caudal ficticio continuo es el caudal que habría que derivar de forma continua y permanente para satisfacer las necesidades brutas de la alternativa de cultivos durante el período punta. Los valores están comprendidos entre (0 y 1 l/s·ha).

2. Caudal emitido por el emisor

Según el manual de Epanet el caudal que atraviesa el emisor varía en función de la presión del nudo y se expresa mediante la siguiente expresión:

$$q = C \cdot p^\gamma$$

Ec. 15

Dónde:

q caudal emitido (l/h)

p presión

C y γ coeficiente de caudal (descarga) y exponente de la presión, donde $\gamma=0.5$

3.3.4 Modalidades de entrega de caudales.

- Sistema de riego a la demanda

Según (Monserrat, Alduan & Barragan, 2012) el sistema de riego a la demanda le permite al agricultor decidir el momento y la dosis de riego. El inconveniente que presenta es que el coste de la red es mayor, ya que es necesario dimensionarla para unos caudales mayores.

El riego a la demanda se diseña para que cualquier regante (parcela, o toma) pueda regar en cualquier instante con una garantía lo suficientemente grande (Garantía de suministro <100%) (Pérez, 2011).

- Sistema de riego por turnos

Mencionan (Monserrat, Alduan & Barragan, 2012) el sistema de riego por turnos supone una disminución de los caudales en la red y el consiguiente ahorro económico, debido a que el riego está organizado de manera que no se produzcan “picos” de demanda.

El riego por turnos se diseña para que cualquier regante (parcela, o toma) pueda regar en el turno de tiempo que le corresponda, con garantías plenas (Garantía de suministro = 100% dentro del turno asignado) (Pérez, 2011).

3.4 Elementos que constituyen una red de distribución.

Afirma (Gaete, 2001) los elementos que componen un sistema de riego son muy variados y deben cumplir con ciertas normas de fabricación que acrediten su resistencia y durabilidad.

Los principales tipos de elementos que constituyen una red de distribución son:

- Tuberías
- Bombas centrífugas
- Válvulas
- Filtros
- Medidores
- Depósitos o tanques de reserva

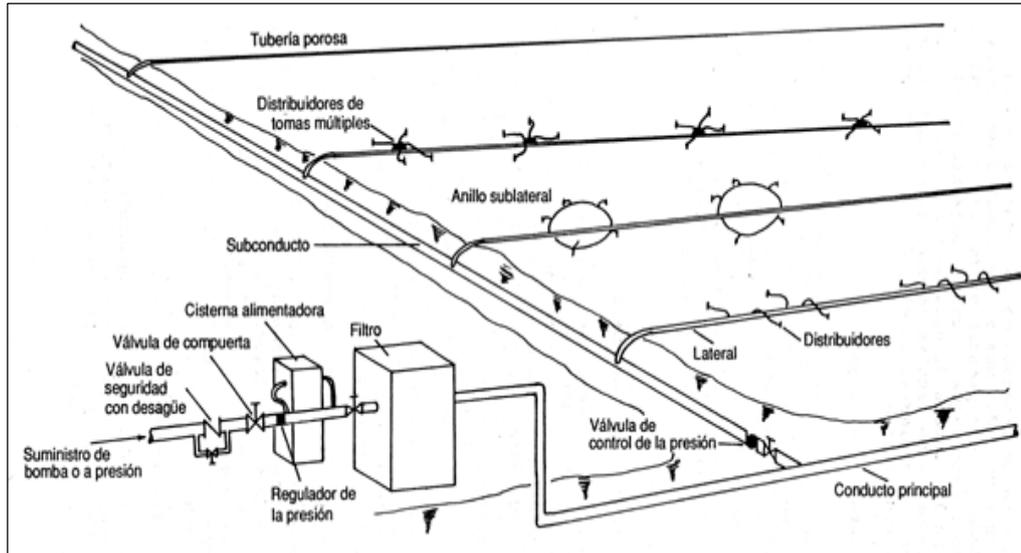


Ilustración 4. Elementos que componen una red de distribución de riego.

FUENTE. "Estudio de la producción piscícola en los canales de riego" (FAO, 2015).

3.4.1 Tuberías

Las tuberías son el elemento principal y más numeroso de la red de distribución. La mayoría de los problemas de diseño, operación, mantenimiento y rehabilitación se encuentran relacionados con dichos elementos (Iglesias, 2003).



Ilustración 5. Tubería.

FUENTE. "Introducción a las redes de abastecimiento" (Iglesias, 2003).

3.4.1.1 *Características de los materiales de tuberías utilizados en las redes de distribución.*

Los materiales de tuberías que se emplean en el entorno geográfico de nuestro país para proyectos de riego son: Polietileno, PVC, PVC en unión espiga campana, y Fibrocemento, las características de estos son:

Tabla 4. Características de materiales de tuberías

Características de materiales de tuberías	
Polietileno	Es un material con alta resistencia térmica y al impacto, se lo utiliza en distribución de agua potable. Ver (Anexo 1)
Prfv	Posee importantes ventajas económicas respecto a las tuberías de hormigón, fundición y acero. Ver (Anexo 2)
Pvc en unión Espiga Campana	Se utiliza en sistemas de riego por bombeo o por gravedad. Ver (Anexo 3)
Fibro cemento	Son durables, económicos, fáciles de instalar y ofrecen los mejores resultados en proyectos hidráulicos. Ver (Anexo 4)

FUENTE. "Introducción a las redes de abastecimiento" (Iglesias, 2003).

3.4.2 Bombas.

Una bomba es una máquina hidráulica capaz de transformar energía, absorbiendo un tipo de energía y restituyéndola en otra (López, 2003).

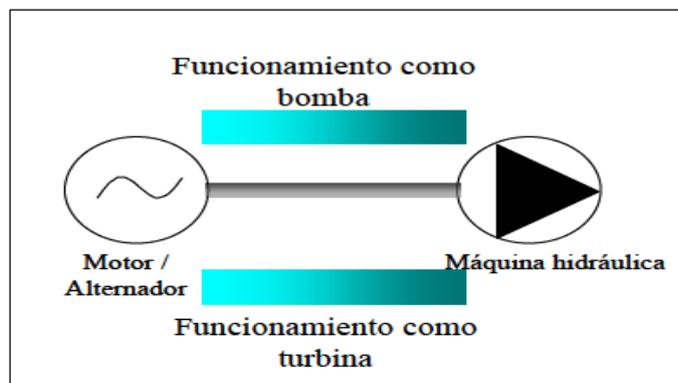


Ilustración 6. Comportamiento de la máquina hidráulica como un transformador energético.

FUENTE. "Introducción a las redes de abastecimiento" (Iglesias, 2003).

3.4.2.1 Clasificación de las máquinas hidráulicas.

Menciona (López, 2003) las máquinas hidráulicas pueden clasificarse de acuerdo con el principio fundamental de funcionamiento, es decir, que si se tiene en cuenta que en toda máquina hay un elemento móvil responsable de la transformación de energía, se establece la ecuación de energía entre la entrada y la salida de dicho elemento.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 + \Delta H = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 \quad \text{Ec. 16}$$

En donde ΔH es la energía transformada, despejando este valor de la ecuación 16 se tiene:

$$\Delta H = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + (Z_2 - Z_1) \quad \text{Ec. 17}$$

De la ecuación anterior surge la primera clasificación de las máquinas hidráulicas en términos de la FUENTE de suministro de energía:

- **Generadores:**

Si el valor de ΔH es positivo, se suministra la energía mecánica al líquido. Este es el caso de las bombas.

- **Motores:** Si el valor de ΔH es negativo, el líquido suministra la energía. Este es el caso de las turbinas.

En el caso particular de las bombas, existen tres formas de realizar la restitución de energía, a saber:

1.- Energía de presión: $\frac{P_1 - P_2}{\gamma} \quad \text{Ec. 18}$

2.- Energía cinética: $\frac{V_1^2 - V_2^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ec. 19}$

3.- Energía potencial: $Z_1 - Z_2 \quad \text{Ec. 20}$

Máquinas de desplazamiento positivo.- El intercambio se manifiesta en forma de presión. En el caso de las bombas, usualmente éstas son de dos tipos: de pistón o de diafragma.

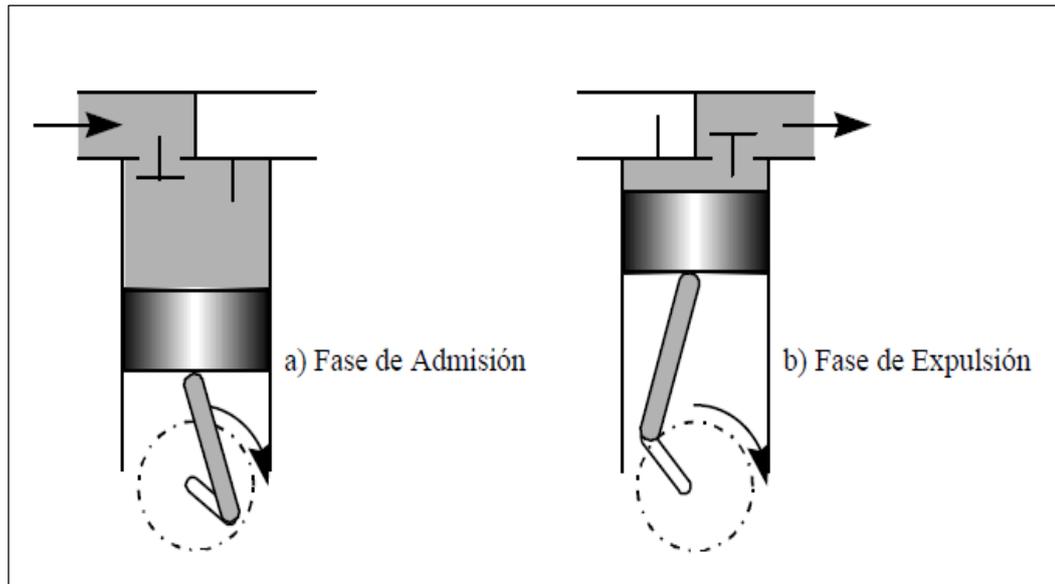


Ilustración 7. Principio de funcionamiento de una máquina de desplazamiento positivo.

FUENTE. “Ingeniería hidráulica en los abastecimientos de agua” (Jiménez, García, Martínez & López, 2003).

- **Turbo máquinas.**- su movimiento es siempre rotativo y por ello reciben también el nombre de bombas centrífugas. El principio de funcionamiento de estas bombas es la ecuación de Euler (Iglesias, 2003).

- **Clasificación de las turbo máquinas:**

La clasificación según la morfología se basa según el número de etapas. Esta clasificación responde al número de rodetes que haya en la máquina. Cuando hay un solo rodete se llaman mono celulares y multi celulares en caso de que haya más de uno. La utilización de máquinas con varios rodetes es adecuada cuando se necesita gran presión, puesto que al ser colocados estos en serie se consigue que para el mismo caudal las presiones sean mayores que con un único rodete (Iglesias, 2003).

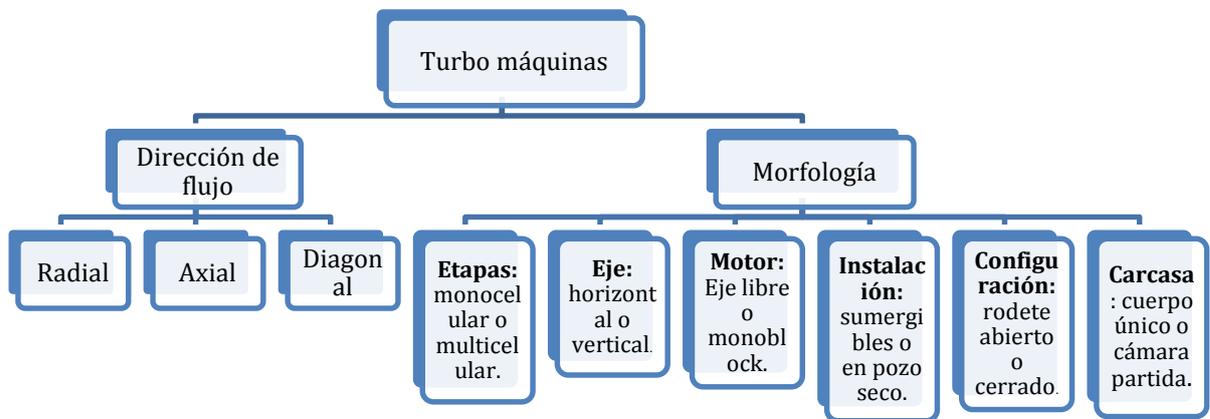


Ilustración 8. Clasificación de las turbo máquinas.

FUENTE. “Ingeniería hidráulica en los abastecimientos de agua” (Jiménez, García, Martínez & López, 2003).

3.4.2.2 *Curva característica de la bomba.*

La curva característica de la bomba muestra la relación entre caudal (Q) y altura de bombeo (H) de una bomba (Estanques.net, 2008).

La ecuación queda representada por la siguiente expresión:

$$h_g = A - B \cdot q^C \quad \text{Ec. 21}$$

Dónde:

h_g altura piezométrica (m)

q caudal (l/s)

A, B y C constantes.

3.4.3 *Depósitos de reserva.*

Según (Pérez de la Cruz, 2011) un depósito es una estructura apta para contener un cierto volumen de agua con las instalaciones complementarias precisas para cumplir funciones de regulación de caudales, de carga y de seguridad del servicio.

3.4.3.1 *Tipología de los depósitos.*

En la tipología más conveniente para un depósito se deben tener en cuenta, además de los criterios de diseño aspectos de tipo económico. Para ello es necesario realizar una valoración económica de la construcción por m³ del mismo, teniendo en cuenta diferentes tipologías con el fin de poder realizar una comparación (Pérez de la Cruz, 2011).

3.4.3.2 *Depósitos según su posición respecto al terreno.*

Pueden ser enterrados, semienterrados, superficiales y elevados.

Tabla 5. Depósitos según la posición del terreno

Depósitos según su posición del terreno	
Enterrados	Son aquellos construidos bajo el nivel del terreno.
Semienterrados	Estos tienen parte de su estructura bajo el nivel del terreno y la otra parte sobre el nivel de éste.
Superficiales	Están construidos sobre el nivel del suelo.
Elevados	Son aquellos cuya solera está por encima del nivel del suelo y se sustentan mediante una estructura.

FUENTE. "Abastecimiento de aguas, depósitos conceptos generales" (Pérez de la Cruz, 2011).

3.5 **Diseño hidráulico de la red de riego.**

Para el diseño hidráulico de la red, se deben tomar en cuenta algunas consideraciones (Lapo, 2012):

- Ubicación de los hidrantes
- Trazado de la red
- Determinación de caudales circulantes por las líneas de toda la red
- Determinación de diámetros de tuberías

3.5.1 *Ubicación de los hidrantes.*

Los hidrantes suelen colocarse a pie de parcela o para suministrar el agua a varias parcelas (Lapo, 2012).

3.5.2 *Trazado de la red.*

El trazado de conducciones, en la mayoría de casos se realiza siguiendo los márgenes de caminos, lindes de parcelas, etc (Lapo, 2012).

3.5.3 Determinación de los caudales circulantes por las líneas de toda

la red.

a) Metodología de Clement

La metodología de Clement propone una solución probabilística para determinar el caudal de línea en una red de riego a la demanda basada en dos hipótesis iniciales (Tarjuelo, Moreno, Planells & Ortega; 2005).

1. La apertura de hidrantes se ajusta a una distribución binomial, y si el número de hidrantes aguas debajo de la línea es suficientemente grande, sigue una distribución normal.
2. Todos los hidrantes de la red tienen la misma probabilidad de apertura a cada hora del día y cada día de la semana en período punta.

La probabilidad elemental p de operación de cada hidrante se define como:

$$p = \frac{q_f \cdot S}{R \cdot d_{prom} \cdot r} \quad \text{Ec. 22}$$

Dónde:

- p probabilidad de operación de cada hidrante
 q_f caudal ficticio continuo (l/s.ha)
 S área promedio de la parcela por ramal (ha)
 R cantidad de hidrantes
 d_{prom} dotación promedio (l/s.ha)
 r coeficiente de uso

Mencionan (Tarjuelo, Moreno, Planells & Ortega; 2005) la garantía de suministro (GS) o calidad de funcionamiento (CF), debe ser seleccionada por el diseñador, de acuerdo al nivel de garantía que se desee proporcionar a la red, este irá cambiando de acuerdo al número de hidrantes que existan aguas debajo de la red.

Tabla 6. Garantía de Suministro

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

FUENTE. "Presión y caudal necesarios en cabeceras de redes de riego a la demanda según la calidad de servicio deseada" (Tarjuelo, Moreno, Planells & Ortega, 2005).

Las soluciones de la ecuación han sido tabuladas en la tabla (7), y de acuerdo al valor de P_q es posible determinar sus valores correspondientes de $U(P_q)$.

Tabla 7. Calidad de operación $U(P_q)$

Garantía de suministro (%)	$U(P_q)$
90	1.285
91	1.345
92	1.405
93	1.475
94	1.555
95	1.645
96	1.755
97	1.885
98	2.055
99	2.324

FUENTE. "Performance analysis of on demand pressurized irrigation systems"

(Lamaddalena y Sagardoy, 1993).

La ecuación de Clement generalizada (Clement y Galand 1986) para n hidrantes es:

$$Q = Q_m + U_{(P_q)} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i \cdot (1 - p_i) \cdot q_{di}^2} \quad \text{Ec. 23}$$

Dónde:

- Q_m caudal medio en los nudos aguas abajo
- $U_{(P_q)}$ percentiles de la función de distribución binomial
- p_i probabilidad de operación en cada hidrante
- q_{di} dotación en cada una de las tomas en (l/s.ha)

4 METODOLOGÍA

La metodología utilizada en la investigación fue la siguiente:

- a.** Recopilación y revisión bibliográfica del tema “Funciones de coste asociadas a tuberías, bombas y depósitos” en páginas web, documentos técnicos, papers, etc.
- b.** Obtener información de parámetros importantes de los elementos de una red hidráulica como materiales, diámetros y cotización en tuberías, bombas y depósitos que se utilizan en nuestro entorno para sistemas de riego. Debido a la falta de información sobre depósitos y estaciones de bombeo en sistemas de riego, gracias a la ayuda de la UMAPAL (Unidad Municipal de agua potable y alcantarillado) se realizó la investigación con datos de estos elementos en sistemas de abastecimiento de agua potable existentes en el entorno local.
- c.** Análisis de las funciones de coste en tuberías, bombas y depósitos.
- d.** Aplicaciones de coeficientes de funciones de coste en una red real de riego.
- e.** Simulación de varios escenarios en el caso de tuberías se realizó el análisis y simulación para los diferentes materiales, diámetros y presiones. En el caso de las bombas para las diferentes potencias y en los depósitos para los volúmenes de estos. Posteriormente se obtuvo el coste unitario y ajustado para cada uno.

5 CASO DE ESTUDIO

En la presente investigación el área de estudio elegida ha sido la red de riego de la Comunidad del Barrio Patuco ubicada en la provincia de Loja, Cantón Celica.

5.1 Ubicación.

La comunidad del Barrio Patuco, está ubicado en la provincia de Loja, Cantón Celica, Parroquia Cruzpamba. Esta parroquia se encuentra a una altura de 1200 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 18° C, posee un clima sub-tropical. Ver ilustración (9)



Ilustración 9. Mapa Limítrofe de la Parroquia Cruzpamba.

FUENTE. "Plan de ordenamiento territorial de la parroquia Cruzpamba" (ECODES, 2011).

5.2 Beneficiarios.

Las personas beneficiadas por el diseño del sistema será la organización: "Juntos Venceremos del barrio Patuco".

5.3 Área del proyecto.

El proyecto de riego para la asociación de Agricultores Agropecuarios "Juntos Venceremos", comprende la parte alta y baja de la zona del Barrio Patuco, que abarca un área total de 24.04 Ha, de las cuales 12.04 Ha serán regadas.

El procedimiento empleado para el diseño hidráulico de la red del sistema de riego del barrio Patuco es el siguiente:

1. Topografía del sector.- Ver Anexo (5).
2. Topología de la red.- Ver Anexo (6).
3. Cálculo del caudal ficticio continuo utilizando (CROPWAT).- Utilizando el software Cropwat se obtuvo un caudal ficticio continuo de **0.34 (l/s.ha)**. Ver Anexo (7).

a) Casos de estudio de sistemas de bombeo de la ciudad de Loja

En vista de que el sistema de riego que se ha tomado para la aplicación de las funciones de costo no funciona con sistema de bombeo se ha adoptado los datos de unas bombas de los sectores de la ciudad de Loja que se muestran en la tabla (8), y esto se realizó para posteriormente obtener los costos que implicaría usar sistemas de bombeo en esta red.

Tabla 8. Características de las estaciones de bombeo de la ciudad de Loja

Estaciones de bombeo en la ciudad de Loja		
Sector	# unidades	Potencia (HP)
San Pedro de Bellavista	2	30 y 25
Sector Occidental Alto	2	25
Clodoveo Jaramillo Alvarado	2	20 y 30
Santa Rosa	2	10 y 15
La Pradera	2	25 y 15
Yahuarcoma	2	40
Consacola - Bolaccachi - Sigsichaca	3	50
Las Pitas	2	20 y 25
Estancia Norte	2	10
Borja Belén	1	30
El Plateado	1	15
Nor - Occidental	3	50
Las Peñas	2	50
Planta del Pucará	2	25 y 10
El Rosal	3	30
Unión Lojana	2	30
Héroes del Cenepa	3	50
Tierras Coloradas	2	30

FUENTE. "Sistemas de bombeo existentes en la ciudad de Loja" (UMAPAL, 2014).

En la ilustración (10) se muestra la ubicación de la estación de bombeo Clodoveo Jaramillo Alvarado.



Ilustración 10. Estación de bombeo Clodoveo Jaramillo Alvarado.

FUENTE. “Sistemas de bombeo existentes en la ciudad de Loja” (UMAPAL, 2014).

b) Casos de estudio de los depósitos de reserva de la ciudad de Loja

Se ha recopilado información de todos los depósitos de reserva existentes en la ciudad de Loja, las características se presentan en la tabla (9).

Tabla 9. Características de los depósitos de reserva de la ciudad de Loja

Depósitos de reserva en la ciudad de Loja		
Sector	# depósitos	Volumen (m³)
San Pedro de Bellavista	2	300 y 500
Sector Occidental Alto	1	400
Clodoveo Jaramillo Alvarado	2	100
Santa Rosa	1	50
La Pradera	2	200
Nor - Occidental Alto	2	400
Nor - Occidental Bajo	1	300
El Rosal	2	400
ZCM + ZCA	1	5800
San Cayetano	3	(2-800) y (1-1000)
Occidental Bajo	1	300
La Banda	1	300
Motupe	1	200
Unión Lojana	1	100
Universidad Nacional de Loja	1	200
Punzara	1	1000
Consacola	1	200
Peñón del Oeste	1	100
Las Pitas	1	200
Belén	1	1500

FUENTE. “Depósitos de reserva existentes en la ciudad de Loja” (UMAPAL, 2014).

En la ilustración (11) se muestra la ubicación del depósito de reserva del Barrio San Cayetano.



Ilustración 11. Depósito de reserva del barrio San Cayetano.

FUENTE. “Depósitos de reserva existente en la ciudad de Loja”
(UMAPAL, 2014).

5.4 Diseño de red a la demanda.

5.4.1 Dotación de riego.

Según (Marino, 2010) para el cálculo de la dotación de riego se han planteado los siguientes parámetros:

- Determinación del grado de libertad (GL).- se puede definir como el cociente entre el número de horas diarias (t) disponibles para riego (generalmente el agua se encuentra a disposición del regante las 24 horas al día) y la jornada efectiva de riego (JER), que el agricultor tendría abierta su toma diariamente.

$$GL = \frac{t}{JER} \quad \text{Ec. 24}$$

- El coeficiente de uso (r).- este se obtiene dividiendo la Jornada efectiva de riego (JER) entre el número de horas diarias (t).

$$r = \frac{JER}{24} \quad \text{Ec. 25}$$

- Caudal ficticio continuo de diseño.- este se obtiene al dividir el caudal ficticio continuo (qf) obtenido entre el coeficiente de uso (r).

$$q_{fd} = \frac{qf}{r} \quad \text{Ec. 26}$$

- Luego se calcula la dotación por parcela y la dotación promedio que se utilizará para obtener la probabilidad elemental.

$$d_{parcela} = q_{fd} \times GL \times S_i \quad \text{Ec. 27}$$

$$d_{prom.} = q_{fd} \times GL \times S \quad \text{Ec. 28}$$

Dónde:

$d_{parcela}$ dotación por parcela (l/s)

d_{prom}	dotación promedio (l/s)
q_{fd}	caudal ficticio de diseño (l/s.ha)
GL	grado de libertad
S	área promedio de la parcela por ramal (ha)
S_i	área efectiva de riego de la parcela (ha)

5.4.2 Probabilidad elemental.

Como el primer modelo de Clément es un método probabilístico que estima los caudales por línea se calcula la probabilidad de que un hidrante se encuentre abierto o no, utilizando el número total de hidrantes acumulado aguas abajo como se muestra en la ecuación (22).

5.4.3 Caudales por línea cuando se calculan las dotaciones por cada parcela.

Para ello se necesita calcular el caudal acumulado aguas abajo del ramal, sumando las dotaciones establecidas para cada parcela, este valor será comparado con el caudal por línea de Clément.

$$Q_{acumulado} = \sum_{i=1}^{n_{hid.}} d_i \quad \text{Ec. 29}$$

Dónde:

d_i dotación por parcela (l/s)

Para el cálculo de los caudales por Clément se utilizan las siguientes ecuaciones:

Caudal medio:

$$Q_{medio} = \sum_{i=1}^{n_{hid.}} d_i \cdot p \quad \text{Ec. 30}$$

La varianza

$$Varian. = \sum_{i=1}^{n_{hid.}} d_i^2 \cdot p \cdot (1 - p) \quad \text{Ec. 31}$$

Finalmente el caudal de Clément:

$$Q_{clément} = \sum_{i=1}^{n_{hid.}} d_i \cdot p \cdot U_{(Pq)} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n_{hidra}} p \cdot (1 - p)} \quad \text{Ec. 32}$$

También puede ser expresado así:

$$Q_{clément} = Q_{medio} + U_{(Pq)} \cdot \sqrt{Varianza} \quad \text{Ec. 33}$$

Cuando se hayan calculado todos los caudales se comparan los valores de los caudales acumulados con los de Clément tomando como caudal de diseño el menor de los dos.

5.5 Diseño de red por turnos.

Para el diseño de redes de riego con funcionamiento a turnos, se tomarán como caudales de diseño, los caudales acumulados. Es decir, el caudal de diseño de un tramo corresponderá a la suma de los caudales aguas abajo (García, 2013).

El diseño por turnos implica ciertos cambios a diferencia del diseño a la demanda. Entre ellos están:

- 1.- Jornada efectiva de riego
- 2.- Dotaciones por hidrante
- 3.- Cálculo de los caudales por línea

El número de turnos de la red, se fijará de manera que la duración total de todos los turnos, no sobrepase el tiempo establecido como JER de la red.

6 CÁLCULO TIPO EN LOS RAMALES DE LA RED

La red está compuesta por dos ramales denominados sectorial I y sectorial II, los mismos que se diseñaron en la modalidad de riego por turnos y a la demanda respectivamente.

6.1 Cálculo tipo de los caudales de Clément en el ramal sectorial II.

A continuación se presenta el cálculo tipo para obtener los caudales de Clément de la primera línea del ramal Sectorial II utilizando las ecuaciones definidas anteriormente.

Los datos utilizados para el cálculo de los caudales de línea son los siguientes:

Área total de riego (A_t)=	12.00 ha
Área en la primera línea (A)=	0.71 ha
Caudal ficticio continuo (q_f)=	0.34 l/s.ha
Jornada efectiva real de riego (JER)=	12 h
Número de hidrantes=	12 u
Tiempo total (T)=	24 h

6.1.1 Grado de libertad de la red (GL).

$$GL = \frac{t}{JER}$$

Reemplazando valores:

$$GL = \frac{24}{12} = 2$$

6.1.2 Rendimiento de la red (r).

$$r = \frac{JER}{24}$$

Reemplazando valores:

$$r = \frac{12}{24} = 0.5$$

6.1.3 Caudal ficticio de diseño (Q_f).

$$q_{fd} = \frac{q_f}{r}$$

Reemplazando valores:

$$q_{fd} = \frac{0.34 \text{ l/s} \cdot \text{ha}}{0.5} = 0.68 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$$

6.1.4 Dotación por parcela ($d_{parcela}$).

$$d_{parcela} = q_{fd} \cdot GL \cdot S_i$$

Reemplazando valores:

$$d_{parcela} = 0.68 \frac{l}{s} \cdot ha \cdot 2.00 \cdot 0.71ha = 0.9656 l/s \cdot ha$$

6.1.5 Probabilidad (p).

$$p = \frac{q_f \cdot S}{d_{parcela}}$$

Reemplazando valores:

$$p = \frac{0.68 \frac{l}{s} \cdot ha \cdot 0.71ha}{0.9656 l/s \cdot ha} = 0.5$$

6.1.6 Varianza en el nudo.

$$Varian. = \sum_{i=1}^{nhid.} d_i^2 \cdot p \cdot (1 - p)$$

Reemplazando valores:

$$Varian. = \sum_{i=1}^{nhid.} 0.9656^2 \cdot 0.5 \cdot (1 - 0.5) = 0.2330$$

6.1.7 Caudal medio en el nudo.

$$Q_{medio} = \sum_{i=1}^{nhid.} d_i \cdot p$$

Reemplazando valores:

$$Q_{medio} = \sum_{i=1}^{nhid.} 0.9656 \cdot 0.5 = 0.4828$$

6.1.8 Caudal acumulado.

Se lo obtiene de la sumatoria de las dotaciones acumuladas aguas abajo del tramo.

$$Q_{acumulado} = 7.7165 l/s \cdot ha$$

6.1.9 Caudal de Clément.

$$Q_{clément} = Q_{medio} + U_{(PQ)} \cdot \sqrt{Varianza}$$

Reemplazando valores:

$$Q_{clément} = 3.8582 \text{ l/s} \cdot \text{ha} + 2.324 \cdot \sqrt{1.7888} = 6.9751 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$$

Se toma como caudal de diseño el mayor, el caudal de la primera línea es 7.7165 l/s.ha.

6.2 Cálculo hidráulico del ramal Sectorial II (diseño a la demanda).

Tomando en consideración las presiones requeridas y sobre todo el mínimo coste.

Los datos que se requieren son:

Caudal de diseño=	7.7165 l/s.ha
Viscosidad cinemática=	9.59438EXP-7 (m ² /s)

6.2.1 Diámetro económico con la ecuación de Mannesman Rohren Werke.

$$D_{económico} = (0.052 \cdot Q^3)^{\frac{1}{7}} \quad \text{Ec. 34}$$

Reemplazando valores:

$$D_{económico} = \left(0.052 \cdot \left(\frac{7.7165}{1000}\right)^3\right)^{\frac{1}{7}} \cdot 1000 = 81.50 \text{ mm}$$

Se ha tomado como diámetro comercial el valor de 75 mm.

6.2.2 Velocidad.

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} \quad \text{Ec. 35}$$

Reemplazando valores:

$$V = \frac{4 \cdot \left(\frac{7.7165}{1000}\right)}{\pi \cdot \left(\frac{75}{1000}\right)^2} = 1.75 \left(\frac{m}{s}\right)$$

6.2.3 Pérdidas por Darcy- Weisbach.

- Número de Reynolds:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\vartheta}$$

Ec. 36

Reemplazando valores:

$$Re = \frac{1.75 \left(\frac{m}{s}\right) \cdot 0.075 m}{9.59438 \cdot 10^{-7} \left(\frac{m^2}{s}\right)} = 136537.713$$

- Factor de Fricción con la ecuación de Miller:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \left[-2 \cdot \text{Log} \left(\frac{\epsilon}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right] \cdot 1^{-2}$$

Ec. 37

Reemplazando valores:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \left[-2 \cdot \text{Log} \left(\frac{2.38 \cdot 10^{-5}}{3.7} + \frac{5.74}{136537.713^{0.9}} \right) \right] \cdot 1^{-2} = 0.01847$$

- Pérdidas por fricción:

$$hf = \left(\frac{8 \cdot f \cdot L}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \right) \cdot Q^2$$

Ec. 38

Reemplazando valores:

$$hf = \left(\frac{8 \cdot 0.01847 \cdot 267.4}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot 0.075^5} \right) \cdot 0.0077165^2 = 10.24 m$$

6.2.4 Pérdidas por accesorios.

- Número de uniones:

$$\#uniones = \frac{L}{6} - 1$$

Ec. 39

Reemplazando valores:

$$\#uniones = \frac{267.4 m}{6} - 1 = 43.57$$

- Pérdidas por uniones:

$$h_{fu} = \#uniones \cdot 0.3 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ec. 40}$$

Reemplazando valores:

$$h_{fu} = 44 \cdot 0.3 \cdot \frac{1.75^2}{2 \cdot 9.81} = 2.053 \text{ m}$$

- Pérdidas totales:

$$H_f = h_{fu} + h_f \quad \text{Ec. 41}$$

Reemplazando valores:

$$H_f = 2.053 \text{ m} + 10.24 \text{ m} = 12.30 \text{ m}$$

- Altura piezométrica:

Altura piezométrica = 935 m – 12.30 m = 922.7 m

Presión estática (D_W) = 935 m – 896 m = 39 m.c.a.

Presión dinámica (D_W) = 922.7 m – 896 m = 26.7 m.c.a.

La presión dinámica obtenida es 26.7 m.c.a, valor superior a 10 m.c.a. por lo tanto cumple con los requisitos de presión mínima y máxima.

6.2.5 Sobrepresión por Golpe de Ariete.

A continuación se calcula la sobrepresión generada por el fenómeno del golpe de ariete, y para ello se calcula los siguientes datos:

- Celeridad (a):

$$a = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot D_{int}}{E \cdot e}}} \quad \text{Ec. 42}$$

Reemplazando valores:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{2170000000}{1000}}}{\sqrt{1 + \frac{2170000000 \cdot 0.0678}{2758000000 \cdot 0.0036}}} = 370.3843 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- Tiempo de fase (T):

$$T = \frac{2 \cdot L_{acum}}{a} \quad \text{Ec. 43}$$

Reemplazando valores:

$$T = \frac{2 \cdot 267.4 \text{ m}}{370.3843 \text{ m/s}} = 1.44 \text{ s}$$

- Longitud crítica (Lc):

$$Lc = \frac{a \cdot T}{2} \quad \text{Ec. 44}$$

Reemplazando valores:

$$Lc = \frac{370.3843 \frac{m}{s} \cdot 1.44s}{2} = 266.68 \text{ m}$$

Para el cálculo del golpe de ariete ΔH , se debe considerar lo siguiente:

- Si la longitud acumulada por tramo es menor que la longitud crítica (Lc), el golpe de ariete se calcula con la ecuación de Michaud.
- Si la longitud acumulada por tramo es mayor a la longitud crítica (Lc), se calcula con la ecuación de Allievi.

En el primer tramo la longitud acumulada es de 267.4 m mayor a la longitud crítica que es 266.68 m, por lo tanto se utiliza la ecuación de Allievi:

$$\Delta H = \frac{370.3843 \text{ m/s} \cdot 1.75 \text{ m/s}}{9.81 \text{ m/s}^2} = 65.95 \text{ m. c. a.}$$

Calculando sobrepresiones en el tramo:

Sobrepresión por (H – W)= 27.15 m.c.a. + 65.95 m.c.a.= 93.10 m.c.a.

Sobrepresión por (D – W)= 26.70 m.c.a. + 65.95 m.c.a.= 92.65 m.c.a.

Según el catálogo de tuberías PLASTIGAMA tienen una presión de trabajo de 127.47 8 m.c.a. por tanto si resisten al fenómeno del golpe de ariete.

El diseño hidráulico del ramal sectorial II se presenta en el Anexo (8).

6.3 Cálculo tipo de caudales por turnos de riego en el ramal sectorial I.

El ramal sectorial I se diseñó por turnos se definió dos turnos de riego con una jornada efectiva de 12 horas. Los horarios de riego para los usuarios se muestran en la tabla (10).

Tabla 10. Turnos de riego

TURNO	HORA
1	06h00 - 12 h00
2	12h00 - 18h00

FUENTE. LA AUTORA

6.3.1 Dotación de riego.

El sistema de riego por turnos es más restrictivo que el diseño a la demanda. El tramo 1 cuenta con un área efectiva de riego de 7.45 hectáreas con ocho hidrantes, obteniéndose un área y dotación promedio de 0.93 hectáreas y 0.63 l/s respectivamente.

6.3.2 Cálculo hidráulico del ramal sectorial I (diseño por turnos).

Se muestran los resultados obtenidos en el ramal sectorial I.

El cálculo del diámetro económico con la ecuación (34) fue de 50.56 mm. La velocidad calculada con la ecuación (35) fue de 1.29 m/s.

Siguiendo el mismo procedimiento que en el ramal sectorial II, los resultados en el cálculo hidráulico del ramal sectorial I, son:

$$\text{Altura piezométrica} = 955 \text{ m} - 4.08 \text{ m} = 950.92 \text{ m}$$

$$\text{Presión estática} = 955 \text{ m} - 900 \text{ m} = 55 \text{ m.c.a.}$$

$$\text{Presión dinámica} = 950.92 \text{ m} - 900 \text{ m} = 50.92 \text{ m.c.a.}$$

La presión dinámica obtenida es 50.92 m.c.a., valor superior a 10 m.c.a., por lo tanto cumple con los requisitos de presión mínima y máxima.

Calculando sobrepresiones en el tramo:

$$\text{Sobrepresión por (H - W)} = 51.28 \text{ m.c.a.} + 48.70 \text{ m.c.a.} = 99.97 \text{ m.c.a.}$$

$$\text{Sobrepresión por (D - W)} = 48.70 \text{ m.c.a.} + 50.92 \text{ m.c.a.} = 99.62 \text{ m.c.a.}$$

Según el catálogo de tuberías PLASTIGAMA, tienen una presión de trabajo de 127.478 m.c.a., por tanto si resisten al fenómeno del golpe de ariete.

El diseño hidráulico del ramal sectorial I se presenta en el Anexo (9).

7 MODELACIÓN Y DISEÑO DE LA RED EN ESTUDIO EN LOS PROGRAMAS EPANET Y DIOPRAM

7.1 Software Diopram.

El software Diopram es un programa desarrollado por el Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos de la Universidad Politécnica de Valencia. Basada en programación lineal para el dimensionado óptimo de redes de distribución de agua en régimen permanente y diseña las redes siguiendo el criterio económico. Desde sus inicios ha sido destinado al diseño de redes de riego con la opción de calcular los caudales por el método probabilístico de Clément.

Al final ofrece un informe completo y detallado del diseño de la red, una vez cumplidos todos los parámetros exigidos por el mismo para su correcta optimización. El formulario de datos es muy parecido al de una hoja de cálculo, el cual requiere el ingreso del nombre de la línea, el nudo inicial, el nudo final, la cota del nudo final (m), la presión mínima (mca), la longitud de la conducción (m) y el número de hidrantes. Ver ilustración (12).

	Id Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Z (m)	PMin (mca)	Ql (l/seg)	L (m)	DN	D (mm)	Nº Hidr.	QAc (l/seg)	Qm (l/seg)	Vc (l/seg) ²
1	n0 - n36	n0	n36	896,0	10,0		267,4			1	0,43	0,32	0,03
2	n36 - n13	n36	n13	893,0	10,0		13,34			1	0,6	0,45	0,07
3	n13 - n14	n13	n14	889,0	10,0		76,47				0,0	0,0	0,0
4	n14 - n16	n14	n16	837,0	10,0		201,1			2	0,6	0,45	0,03
5	n13 - n6	n13	n6	867,0	10,0		128,0				0,0	0,0	0,0
6	n6 - n7	n6	n7	883,0	10,0		154,5			1	0,33	0,25	0,02
7	n7 - n19	n7	n19	877,0	10,0		81,85			1	0,6	0,45	0,07
8	n6 - n4	n6	n4	850,0	10,0		166,0				0,0	0,0	0,0
9	n4 - n5	n4	n5	841,0	10,0		82,09			1	0,03	0,02	0,0
10	n4 - n17	n4	n17	847,0	10,0		49,0				0,0	0,0	0,0
11	n17 - n31	n17	n31	848,0	10,0		15,0			1	0,03	0,02	0,0
12	n17 - n2	n17	n2	840,0	10,0		67,45				0,0	0,0	0,0
13	n2 - n3	n2	n3	838,0	10,0		43,06			1	0,17	0,13	0,01
14	n3 - n18	n3	n18	835,0	10,0		60,27			1	0,02	0,02	0,0
15	n2 - n1	n2	n1	834,0	10,0		112,8			2	0,6	0,45	0,03

Ilustración 12. Ingreso de datos en el software Diopram.

FUENTE. LA AUTORA

- Resultados

Se presentan los resultados de la red luego de haber simulado mediante el software Diopram:

El informe completo de costes y tuberías seleccionadas en la red completa se presentan en el Anexo (10).

7.2 Software Epanet.

El software Epanet efectúa un seguimiento de la evolución de los caudales y velocidades en las tuberías, las presiones en los nudos y los niveles en los depósitos, a lo largo del periodo de simulación definido en múltiples intervalos de tiempo.

Entre las ventajas que se tomaron en cuenta para la modelación de la red de estudio se encuentran las siguientes:

- Admite la simulación de cualquier tipo de bomba.
- Las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de Hazen - Williams, Darcy - Weisbach o Chezy - Manning.
- Estima el consumo energético y sus costes.
- Permite establecer diferentes tipos de demanda en los nudos y realizar la simulación en periodo extendido.

7.2.1 Modelación del ramal sectorial II de la red diseñado a la demanda.

Para modelar los ramales de la red se ingresaron datos de longitudes, diámetros de tuberías, cotas en los nudos y coeficiente de los emisores.

Los valores de pérdidas de carga se calcularon con la ecuación de Darcy- Weisbach.

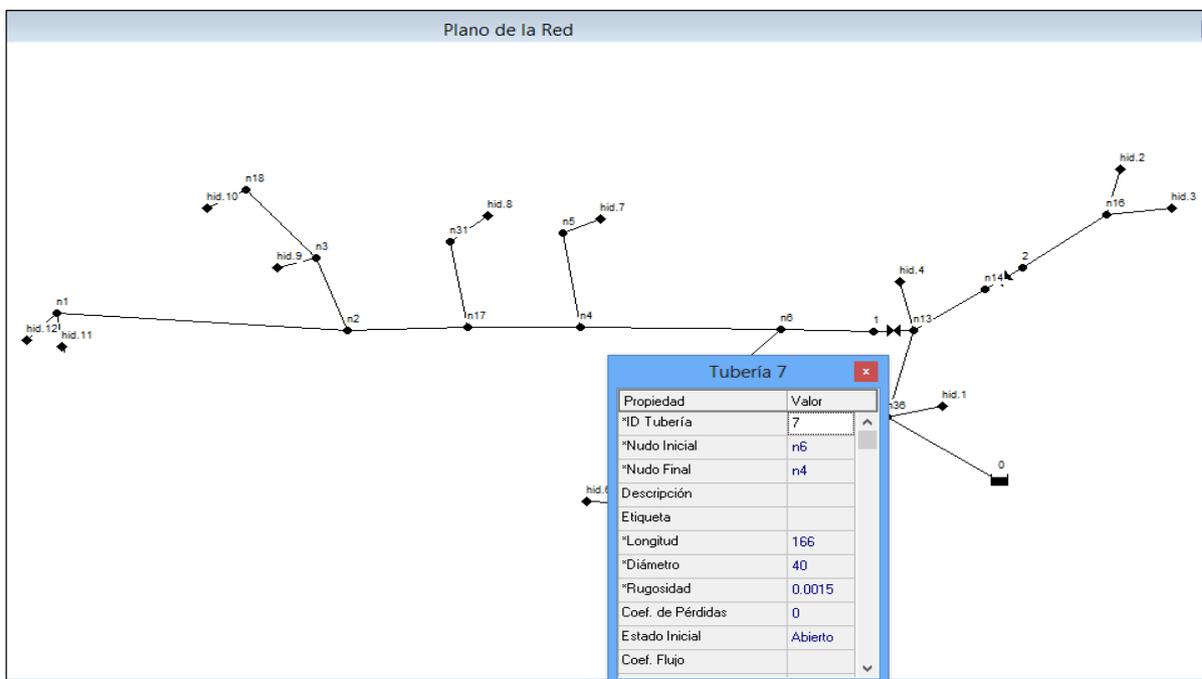


Ilustración 15. Esquema del ramal sectorial II de la red en el software Epanet.

FUENTE. LA AUTORA

7.2.2 Coeficiente del emisor

La modelación del emisor en Epanet se realizó para cada hidrante, en este caso se utilizó el aspersor modelo WOBBLER Boquilla 10 turquesa R/M ¾" de la línea Senninger, con las siguientes presiones de trabajo:

Tabla 11. Presiones de trabajo del aspersor WOBBLER

Wobbler	Presiones (PSI)						
Boquilla # 10 (Turquesa) R/M ¾"	10	15	20	25	30	35	40
Caudal (gpm)	2.26	2.72	3.18	3.54	3.9	4.18	4.45

FUENTE: "Catálogo de aspersores senninger línea agrícola" (<http://www.plastigama.com.ec/pdfs/aspersores.pdf>).

Para el cálculo del valor del coeficiente del emisor se utilizó la fórmula del manual de Epanet:

$$C = \frac{q}{p^\gamma} \quad \text{Ec. 45}$$

Dónde:

- C coeficiente del emisor
- q caudal del emisor (l/s)
- p presión mínima en el nudo (mca)
- γ exponente de la presión que generalmente es de 0.5

Para el caso de estudio se ha elegido como presión mínima 10 mca, ya que se encuentra en el rango de trabajo del rociador Wobbler. Para el cálculo del coeficiente se utilizaron los valores más próximos a la presión mínima requerida en el nudo resultando la presión de trabajo 15 psi y con un caudal de 2.26 gpm.

$$C = \frac{2.26 \cdot 0.06314}{10.80^{0.5}} = 0.043$$

El valor del coeficiente de 0.043 se ingresó en todos los nudos de la red que disponían hidrantes.

Conexión hid.7	
Propiedad	Valor
*ID Conexión	hid.7
Coordenada-X	6471.09
Coordenada-Y	8758.50
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	841
Demanda Base	0.0651
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	0.043
Calidad Inicial	

Ilustración 16. Datos del emisor ingresados en el software Epanet.

FUENTE. LA AUTORA

7.2.3 Datos energéticos requeridos.

El software requiere ciertos datos de ingreso para las bombas como son: curva característica de la bomba, la potencia de la bomba en KW, el rendimiento en porcentaje y el precio de la energía en \$/Kwh. La potencia y el rendimiento se obtuvieron de la base de datos de las bombas Ideal, mientras que el precio de la energía fue definida para la ciudad de Loja, tomando en cuenta las consideraciones emitidas por el CONELEC, con una tarifa de baja tensión para este tipo de proyecto de 0.04 \$/Kwh. Se modelaron con una altura de bombeo necesaria de 10 m.

7.2.4 Curva característica de la bomba.

A continuación se detallan las curvas características de las bombas ingresadas en el software Epanet con su respectiva ecuación tanto en la modalidad de riego a la demanda como por turnos.

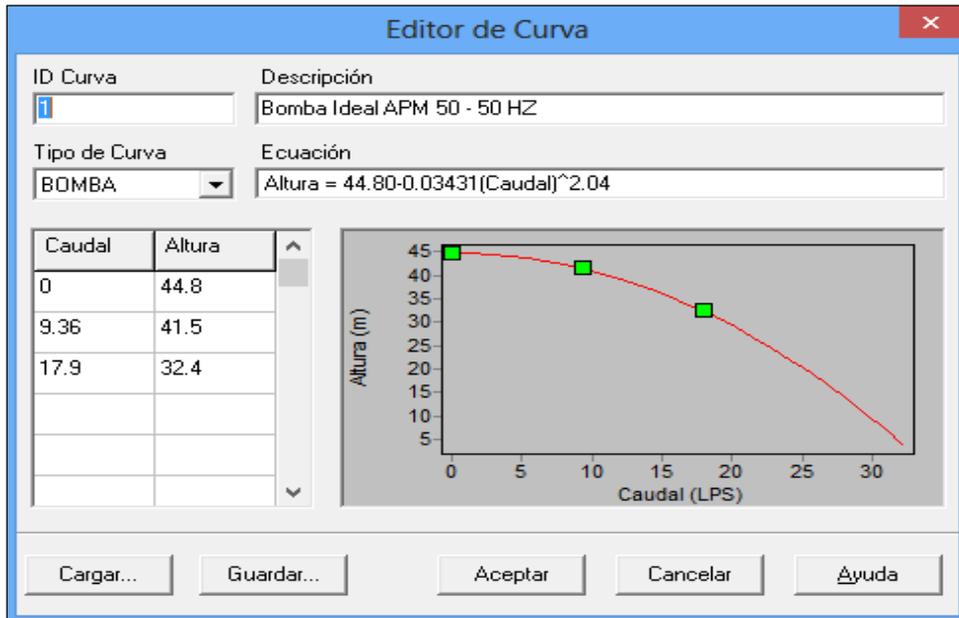


Ilustración 17. Curva característica de la bomba Ideal APM- 50- 50 HZ, utilizada en la red diseñada a la demanda.

FUENTE. LA AUTORA

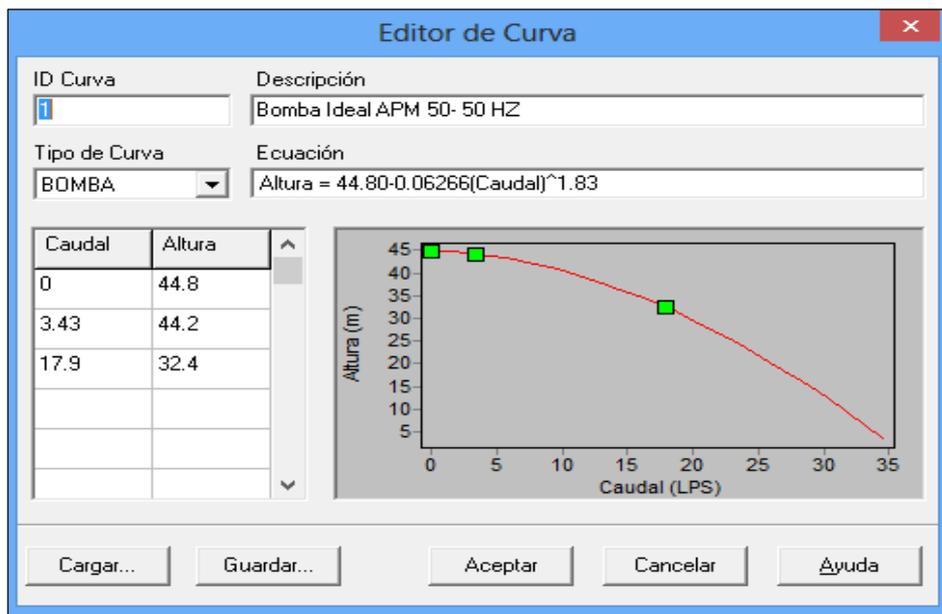


Ilustración 18. Curva característica de la bomba Ideal APM- 50- 50 HZ, en el ramal diseñado a la demanda.

FUENTE. LA AUTORA

Ecuaciones de las curvas características en la modalidad de riego a la demanda:

$$hg = 44.80 - 0.03431 \cdot q^{2.04}$$

$$hg = 44.80 - 0.06266 \cdot q^{1.83}$$

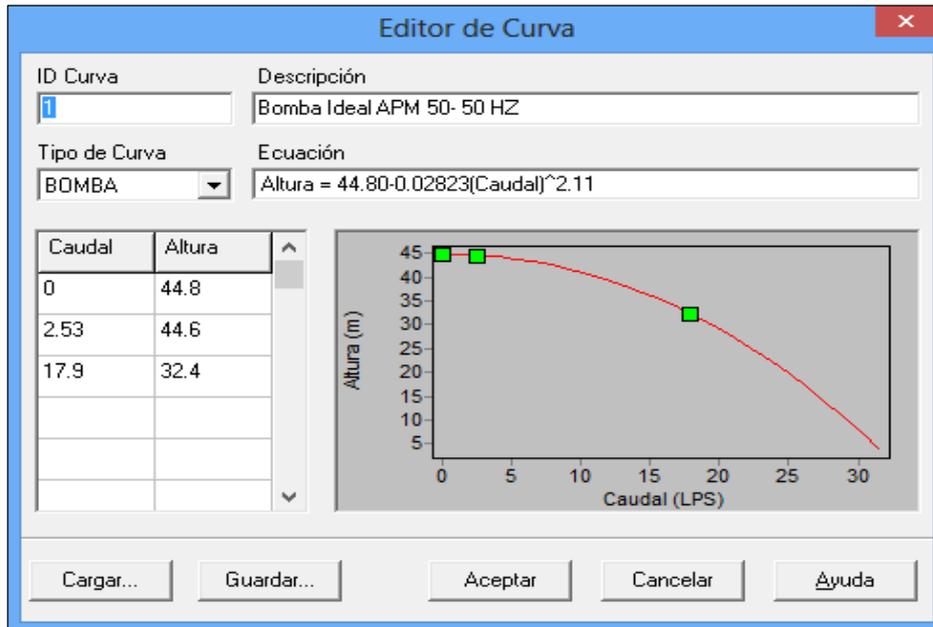


Ilustración 19. Curva característica de la bomba Ideal APM – 50- 50HZ, en la modalidad de riego por turnos.

FUENTE. LA AUTORA

Ecuación de la curva característica en la modalidad de riego por turnos:

$$h_g = 44.80 - 0.02823 \cdot q^{2.11}$$

7.2.5 Informes de consumo de energía en la red y en el ramal diseñado a la demanda.

Se generaron los siguientes informes energéticos para la altura de bombeo de 10 metros respectivamente para periodo estacionario.

Informe de Consumo de Energía						
Bomba	Porcentaje Utilización	Rendimiento Medio	kW·h /m3	Potencia Media (kW)	Potencia Máx. (kW)	Coste /día
14	100.00	70.60	0.09	7.68	7.68	7.37
Coste Total						7.37

Ilustración 20. Informe energético en la red diseñada a la demanda para una altura de bombeo de 10 metros, en periodo estacionario.

FUENTE. LA AUTORA

Informe de Consumo de Energía						
Tabla		Gráfica				
Bomba	Porcentaje Utilización	Rendimiento Medio	kW·h /m3	Potencia Media (kW)	Potencia Máx. (kW)	Coste /día
1	100.00	70.60	0.16	5.59	5.59	5.36
Coste Total						5.36

Ilustración 21. Informe energético del ramal diseñado a la demanda para una altura de bombeo de 10 metros, en periodo estacionario.

FUENTE. LA AUTORA

Se generaron los siguientes informes energéticos para la altura de bombeo de 10 metros respectivamente para periodo extendido.

Informe de Consumo de Energía						
Tabla		Gráfica				
Bomba	Porcentaje Utilización	Rendimiento Medio	kW·h /m3	Potencia Media (kW)	Potencia Máx. (kW)	Coste /día
14	100.00	70.60	0.06	5.54	5.54	5.31
Coste Total						5.31

Ilustración 22. Informe energético en la red diseñada a la demanda para una altura de bombeo de 10 metros en periodo extendido.

FUENTE. LA AUTORA

Informe de Consumo de Energía						
Tabla		Gráfica				
Bomba	Porcentaje Utilización	Rendimiento Medio	kW·h /m3	Potencia Media (kW)	Potencia Máx. (kW)	Coste /día
1	100.00	70.60	0.16	4.44	4.44	4.27
Coste Total						4.27

Ilustración 23. Informe energético del ramal diseñado a la demanda para una altura de bombeo de 10 metros en periodo extendido.

FUENTE. LA AUTORA

Los valores del factor energético para los dos escenarios fueron los siguientes:

Para la red completa:

- Para una altura de bombeo de 10 metros se obtuvo un consumo energético total de 7.68 KW con un coste de \$ 7.37 dólares por día, en periodo estacionario.
- Para una altura de bombeo de 10 metros se obtuvo un consumo energético total de 5.54 KW con un coste de \$ 5.31 dólares por día, en periodo extendido.

Para el ramal sectorial II:

- Para una altura de bombeo de 10 metros se obtuvo un consumo energético total de 5.59 KW con un coste de \$ 5.36 dólares por día, en periodo estacionario.
- Para una altura de bombeo de 10 metros se obtuvo un consumo energético total de 4.44 KW con un coste de \$ 4.27 dólares por día, en periodo extendido.

7.2.6 Modelación del ramal sectorial I diseño por turnos.

Para la modelación del ramal diseñado por turnos se ingresaron datos de longitudes, diámetros de tuberías, cotas en los nudos y coeficiente de los emisores.

Los valores de pérdidas de carga se calcularon con la ecuación de Darcy- Weisbach.

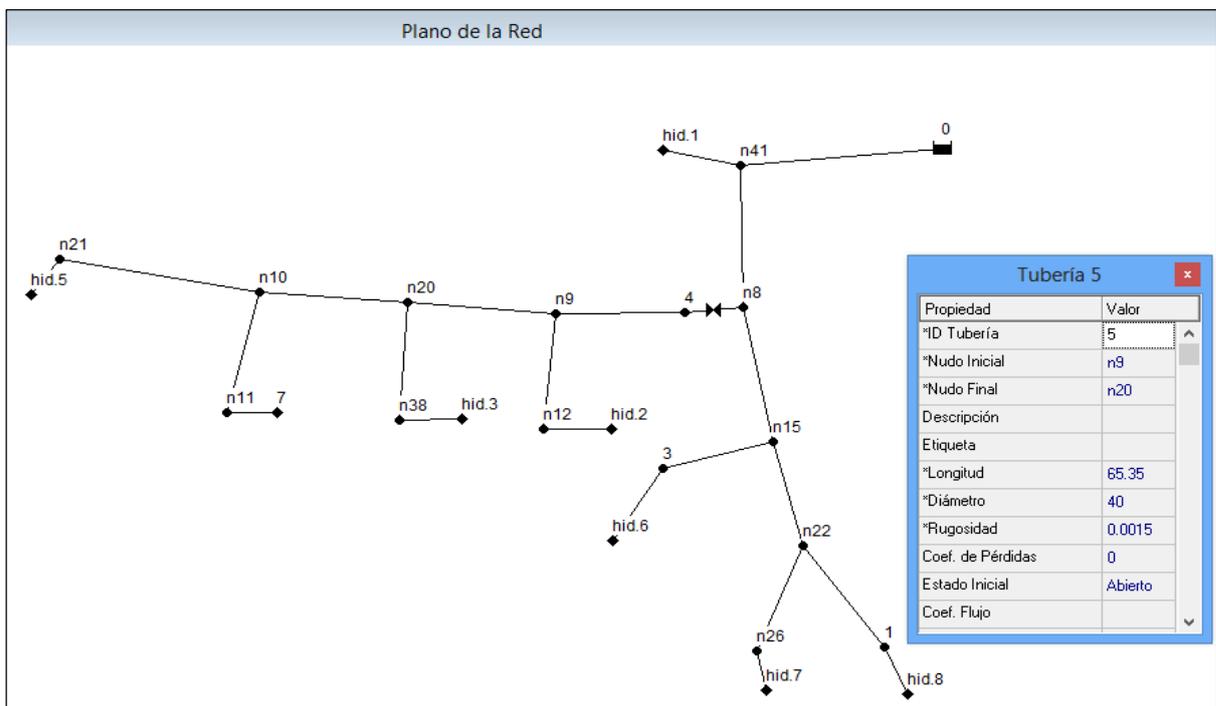
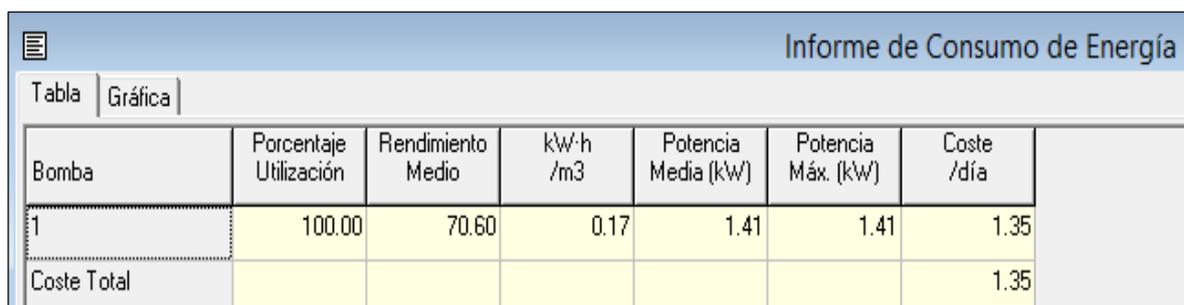


Ilustración 24. Esquema del ramal sectorial I de la red en Epanet.

FUENTE. LA AUTORA

7.2.7 Informes de consumo de energía en la red diseñada por turnos.

Se generaron los siguientes informes energéticos para la altura de bombeo de 10 metros para periodo estacionario en la modalidad de riego por turnos.

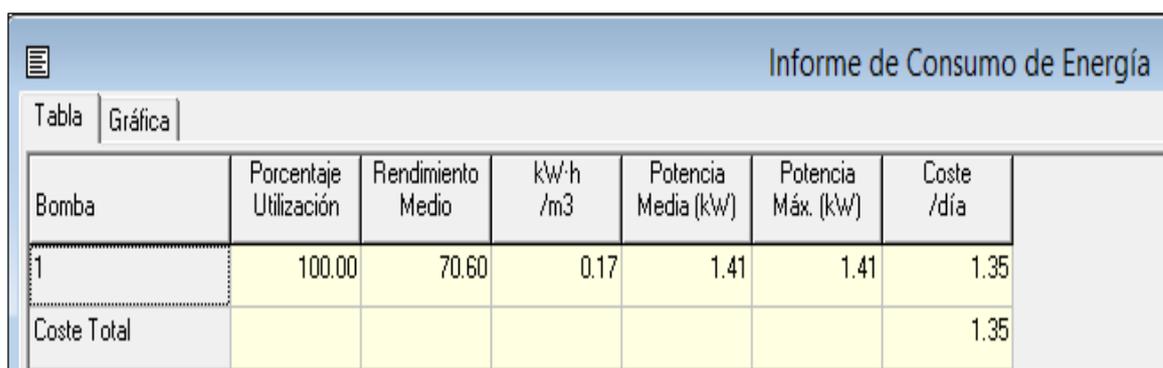


Bomba	Porcentaje Utilización	Rendimiento Medio	kW·h /m3	Potencia Media (kW)	Potencia Máx. (kW)	Coste /día
1	100.00	70.60	0.17	1.41	1.41	1.35
Coste Total						1.35

Ilustración 25. Informe energético del ramal diseñado por turnos para una altura de bombeo de 10 metros, en periodo estacionario.

FUENTE. LA AUTORA

Se generaron los siguientes informes energéticos para la altura de bombeo de 10 metros para periodo extendido.



Bomba	Porcentaje Utilización	Rendimiento Medio	kW·h /m3	Potencia Media (kW)	Potencia Máx. (kW)	Coste /día
1	100.00	70.60	0.17	1.41	1.41	1.35
Coste Total						1.35

Ilustración 26. Informe energético del ramal diseñado por turnos para una altura de bombeo de 10 metros en periodo extendido.

FUENTE. LA AUTORA

Los valores del factor energético para los dos escenarios fueron los siguientes:

- Para una altura de bombeo de 10 metros se obtuvo un consumo energético total de 1.41 KW con un coste de \$ 1.35 dólares por día, en periodo estacionario.
- Para una altura de bombeo de 10 metros se obtuvo un consumo energético total de 1.41 KW con un coste de \$ 1.35 dólares por día, en periodo extendido.

8 RESULTADOS Y SU ANÁLISIS

8.1 Curvas de coste obtenidas en tuberías.

Para obtener las ecuaciones de coste se utilizaron los costos reales y diámetros de tuberías y mediante una función potencial se obtuvieron los coeficientes A y a que son parte de la función de coste. Se usaron diferentes presiones de trabajo de tuberías.

En tuberías de polietileno se obtuvieron las ecuaciones de coste para presiones de trabajo de 1 MPa y 1.6 MPa y diámetros que van desde 0.02 m a 0.4 m. Ver ilustración (27)

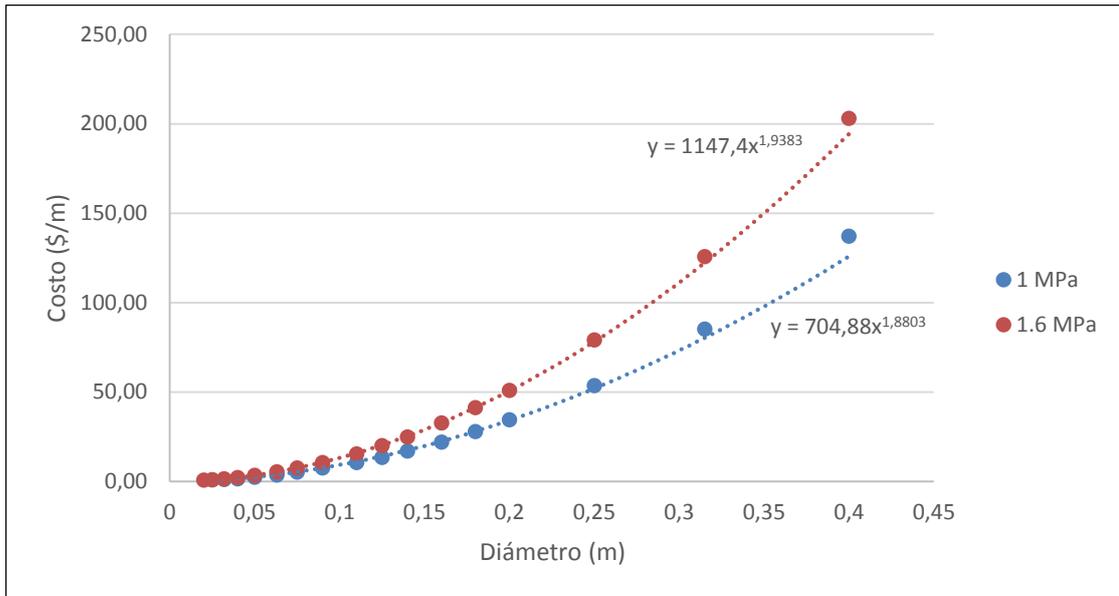


Ilustración 27. Funciones de coste para tuberías de Polietileno.

FUENTE. LA AUTORA

Para las tuberías de PRFV se utilizaron tuberías con presiones de trabajo de 0.6 MPa a 2 MPa, y diámetros que van desde 0.1 m a 1.5 m. Ver ilustración (28)

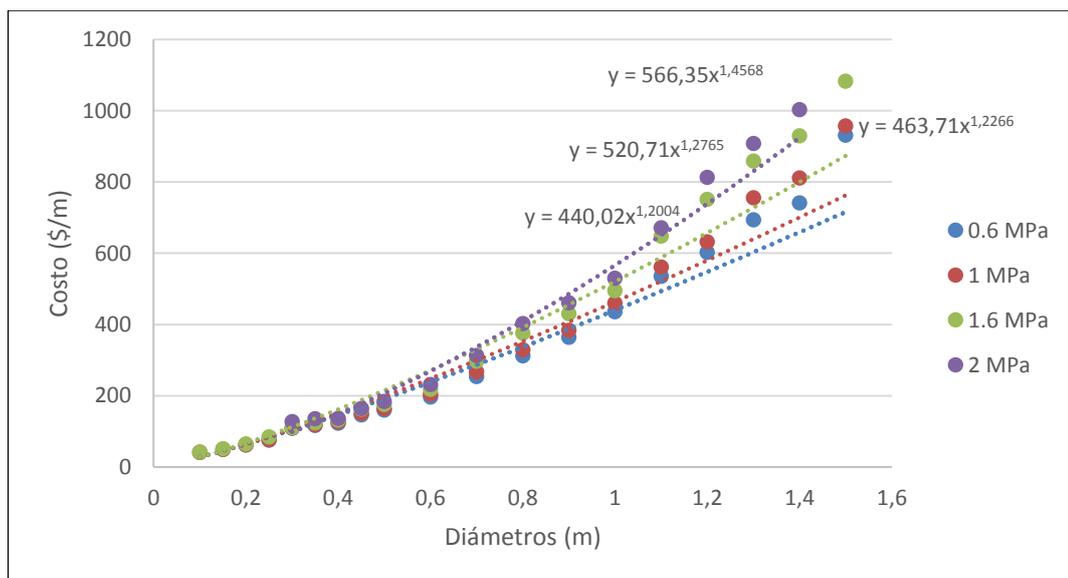


Ilustración 28. Funciones de coste para tuberías PRFV.

FUENTE. LA AUTORA

En tuberías de plastigama (U/Z) se utilizaron tuberías con presiones de trabajo de 0.63 MPa a 2 MPa, con diámetros que van desde 0.05 m a 0.63 m. Ver ilustración (29)

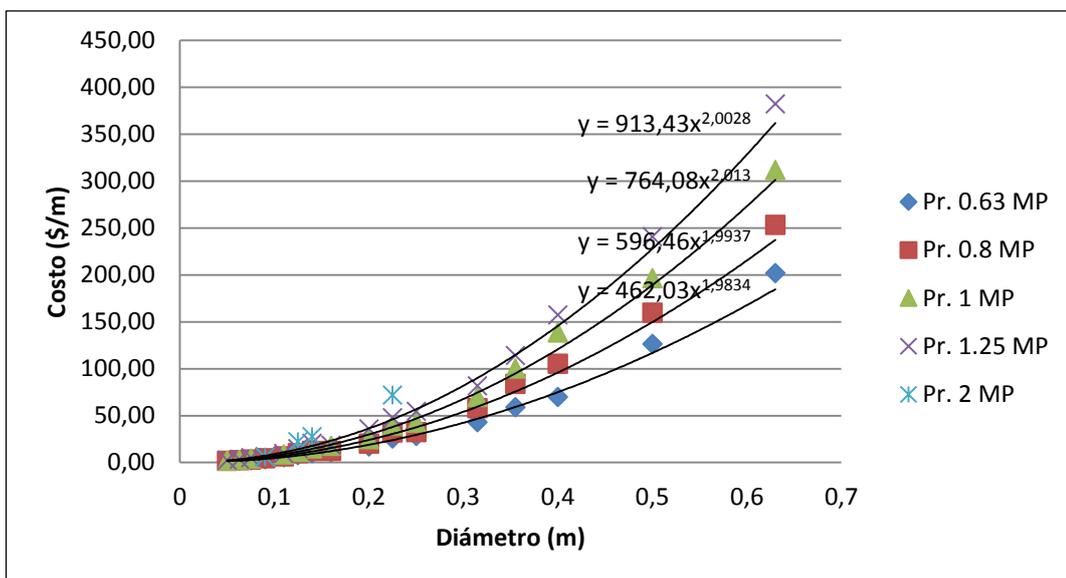


Ilustración 29. Funciones de coste para tuberías PLASTIGAMA (U/Z).

FUENTE. LA AUTORA

Para tuberías de espiga campana se utilizaron tuberías con presiones de trabajo de 0.63 MPa a 2 MPa, con diámetros de 0.02 m a 0.225 m. Ver ilustración (30)

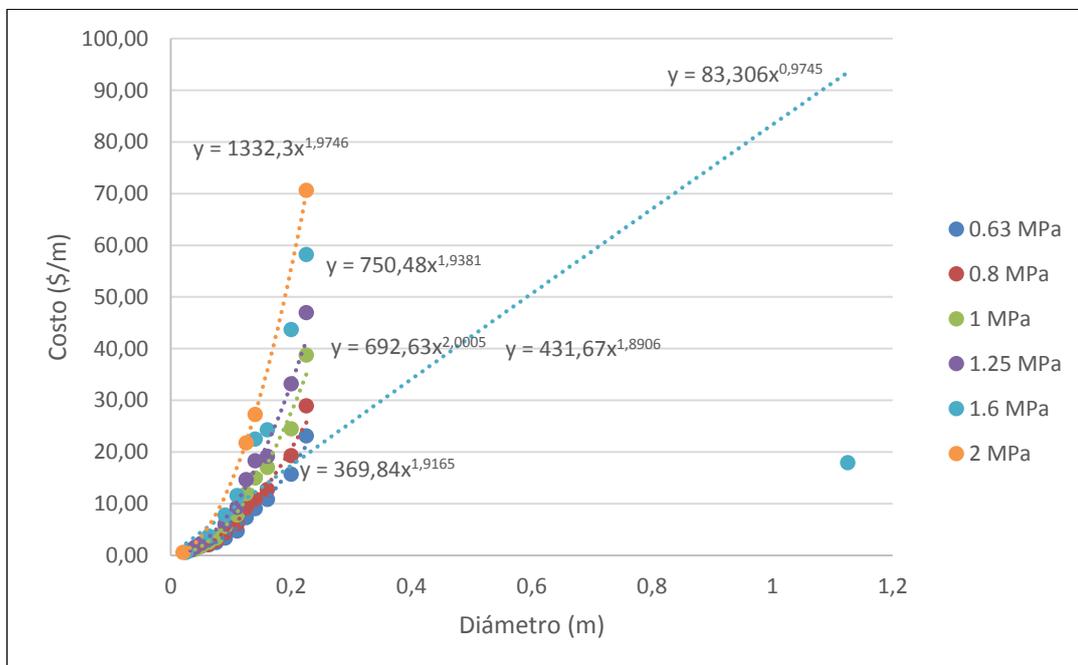


Ilustración 30. Funciones de coste para tuberías de Espiga Campana.

FUENTE. LA AUTORA

Para las tuberías de Fibrocemento se utilizaron tuberías con presiones de trabajo de Clase A5 a Clase A14 con diámetros que van de 0.1 m a 0.9 m. Ver ilustración (31)

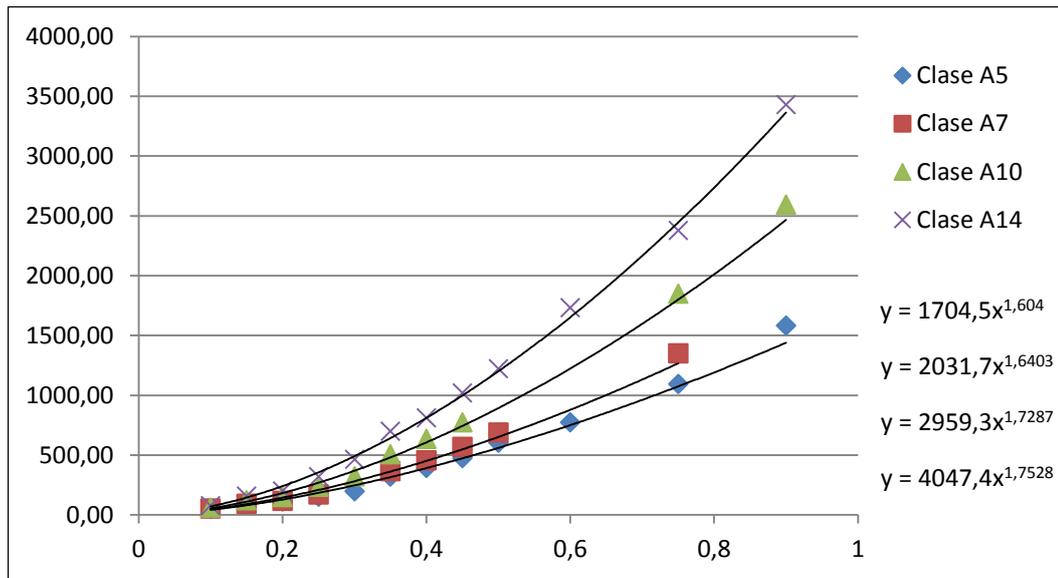


Ilustración 31. Funciones de costo para tuberías de Fibrocemento.

FUENTE. LA AUTORA

Cálculo tipo 1 para tuberías:

Para obtener las funciones de costo se realiza el siguiente procedimiento:

- 1) Se aplica la ecuación de costo (4)

Datos:

D= 2.48 pulg.

L= 1 m

C₁= 0.34 (\$/m)

Material PLASTIGAMA (E/C)

$$C_T = C_1 \cdot D \cdot L$$

$$C_T = 0.34 \cdot 2.48 \cdot 1$$

$$C_T = 0.84 \left(\frac{\$}{m} \right)$$

Ver resultados de costes unitarios en el Anexo (11).

Cálculo tipo 2:

1. Se obtiene la ecuación de costo de tuberías PLASTIGAMA (E/C), utilizando los diámetros y precios reales. Ver Anexo (3).
2. Con las constantes obtenidas en la ilustración (30) se aplica la ecuación de costo (6):

Datos:

$$A_2 = 369.84$$

$$D = 0.09 \text{ m}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$a = 1.9165$$

Material: PLASTIGAMA (E/C)

Presión: 0.63 MP

$$Cc = (A_1 + A_2 \cdot D^a) \cdot L \quad 1 < a < 2$$

$$Cc = (0 + 369.84 \cdot 0.09^{1.9165}) \cdot 1$$

$$Cc = 3.66 \left(\frac{\$}{\text{m}} \right)$$

Ver resultados de costes unitarios en el Anexo (12).

Cálculo tipo 3:

- 1) Se utiliza la ecuación de coste (7), utilizando los valores de ajuste a y b más altos.

Datos:

$$a = 3.28$$

$$x = 3.54 \text{ pulg.}$$

$$b = 1.8$$

Material: PLASTIGAMA (E/C)

$$C_t = a \cdot (x)^b$$

$$C_t = 3.28 \cdot (3.54)^{1.08}$$

$$C_t = 5.32 \left(\frac{\$}{\text{m}} \right)$$

Ver resultados de costes unitarios en el Anexo (13).

Cálculo tipo 4:

1) Se aplica la ecuación de coste (8):

Datos:

D= 3.54 pulg.

L= 1 m

e= 1.5 mm

Material: PLASTIGAMA (E/C)

Presión: 0.63 MP

$$C_{TT} = f(D \cdot e \cdot L)$$

$$C_{TT} = f(3.54 \cdot 1.5 \cdot 1)$$

$$C_{TT} = 5.31 \left(\frac{\$}{m} \right)$$

Ver resultados de costes unitarios en el Anexo (14).

8.2 Curvas de coste obtenidas en bombas.

En la ilustración (32) se puede observar la ecuación de coste para bombas, la cual pende del costo real y la potencia de las mismas obteniendo una función potencial que depende de una incógnita x, la misma que permitió calcular el costo unitario y ajustado en bombas.

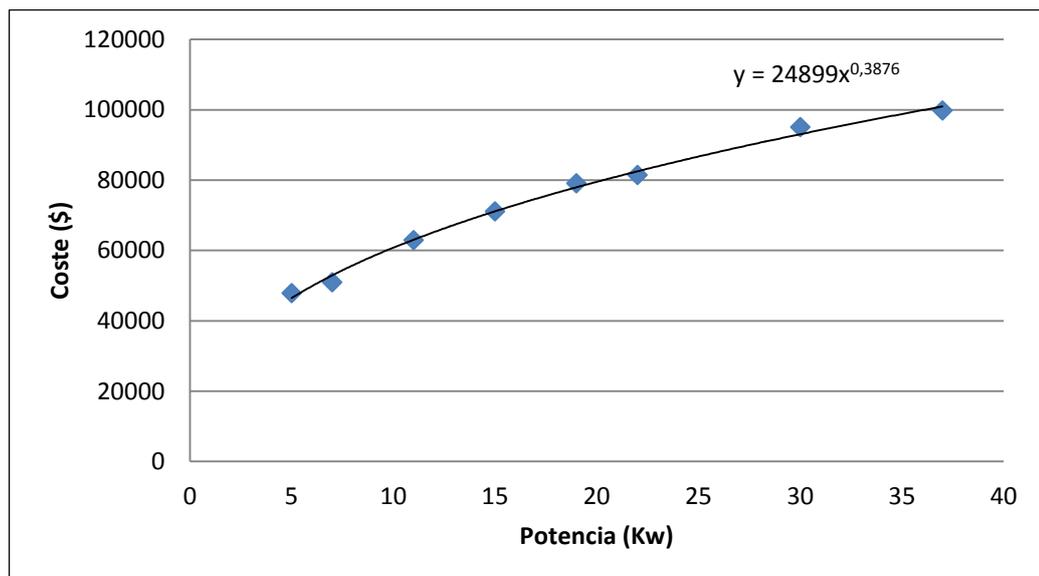


Ilustración 32. Funciones de coste en bombas.

FUENTE. LA AUTORA

Cálculo tipo 1 en bombas:

- 1) Se obtiene la ecuación de coste de bombas, utilizando las potencias y costos reales. Ver Anexo (15).
- 2) Con la ecuación obtenida en la ilustración (32) se aplica la ecuación de coste (9), con los datos necesarios:

Datos:

$$A_2 = 24899$$

$$W = 5 \text{ Kw}$$

$$a = 0.3876$$

$$C_c = (A_1 + A_2 \cdot W^a) \quad 0 < a < 1$$

$$C_c = (0 + 24899 \cdot 5^{0.3876})$$

$$C_c = 46443 \text{ (\$)}$$

Ver resultados de costes unitarios en el Anexo (15).

Cálculo tipo 2 en bombas:

- 1) Se aplican las ecuación de coste (12)

Datos:

$$C_e = 0.04 \text{ (\$/KW*h)}$$

$$P = 15 \text{ (KW)}$$

$$t = 720 \text{ (h/año)}$$

Lugar: Santa Rosa

$$C_{AB} = P \cdot t \cdot C_e$$

$$C_{AB} = 15 \cdot 720 \cdot 0.04$$

$$C_{AB} = 432 \left(\frac{\$}{\text{año}} \right)$$

Ver resultados de costes unitarios en el Anexo (16).

8.3 Curvas de coste obtenidas en depósitos.

En la ilustración (33) se puede observar la ecuación de coste para depósitos, la misma que pende del costo real y del volumen de estos, al final se obtiene una función potencial que depende de una incógnita x , con la que se calcula el costo unitario y ajustado en depósitos.

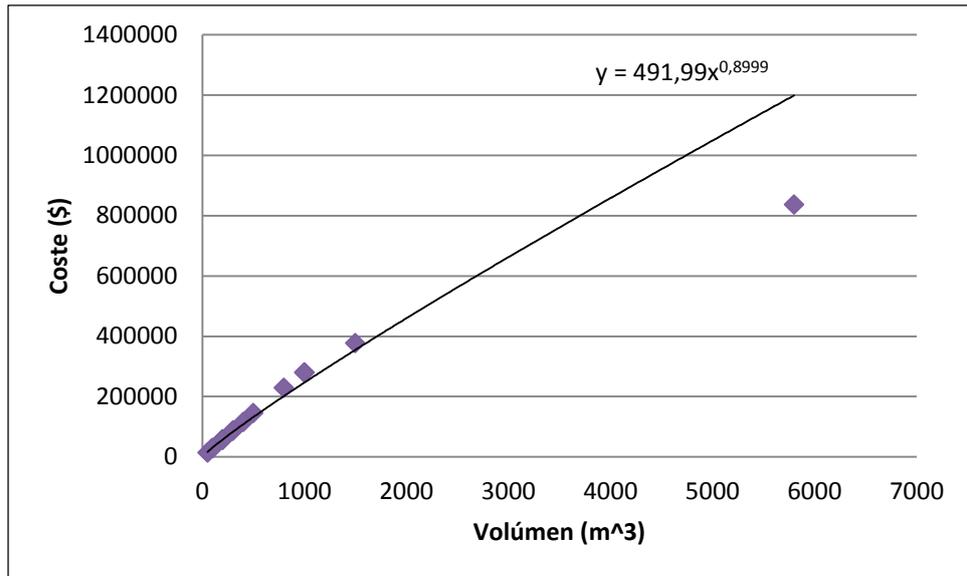


Ilustración 33. Funciones de coste en depósitos.

FUENTE. LA AUTORA

Cálculo tipo 1 en depósitos:

- 1) Se obtiene la ecuación de coste de depósitos, utilizando los volúmenes y precios reales. Ver Anexo (17).
- 2) Con la ecuación obtenida en la ilustración (33) se aplica la ecuación de coste (13):

Datos:

A= 491.99
V= 50 m³
a= 0.8999

$$C = A \cdot V^a \quad 0 < a < 1$$

$$C = 491.99 \cdot 50^{0.8999}$$

$$C = 16629 (\$)$$

Ver resultados de costes unitarios en el Anexo (17).

8.4 Diseño de los ramales de la red en la modalidad de riego a la demanda y por turnos (Método analítico o sin funciones de costo).

Se entiende por método analítico en este trabajo investigativo a aquel que se emplea habitualmente con diámetros discretos y para diferentes presiones de trabajo de tubería. A continuación se detallan los costos de tuberías por cada diseño, para mayor entendimiento de la misma se puede observar el diseño hidráulico de los ramales de la red. Ver Anexos (8 y 9).

Tabla 12. Costos en tuberías PLASTIGAMA (E/C) en metros, en el ramal sectorial II diseñado a la demanda

Descripción	Cantidad (m)	Precio (\$/m)	Total (USD)
Suministro de tubería PVC (E/C) 32 mm, 1.25 MPa	200.42	1.00	200.42
Suministro de tubería PVC (E/C) 40 mm, 1.25 MPa	754.67	1.60	1207.47
Suministro de tubería PVC (E/C) 50 mm, 1.25 MPa	154.50	2.31	356.90
Suministro de tubería PVC (E/C) 63 mm, 1.25 MPa	128.00	3.17	405.76
Suministro de tubería PVC (E/C) 75 mm, 1.25 MPa	280.74	3.39	951.71
TOTAL (USD)=			3122.26

FUENTE. LA AUTORA

Tabla 13. Costos en tuberías PLASTIGAMA (E/C) en metros, en el ramal sectorial I diseñado por turnos

Descripción	Cantidad (m)	Precio (\$/m)	Total (USD)
Suministro de tubería PVC (E/C) 32 mm, 1.25 MPa	177.66	1.00	177.66
Suministro de tubería PVC (E/C) 40 mm, 1.25 MPa	592.47	1.60	947.95
Suministro de tubería PVC (E/C) 50 mm, 1.25 MPa	618.93	2.31	1429.73
TOTAL (USD)=			2555.34

FUENTE. LA AUTORA

De acuerdo a las tablas (12 y 13) para el ramal diseñado a la demanda el costo fue de \$ 3122.26 dólares mientras que para el ramal diseñado por turnos el valor fue de \$ 2555.34 dólares con una diferencia de \$ 566.92 dólares equivalente a 18.16%, siendo más económico el diseño por turnos.

En la tabla (14) se muestra la comparación de costes de los diferentes materiales de tuberías con los cuales se diseñaron los ramales de la red tanto a la demanda como por turnos.

Tabla 14. Costos de otros tipos de tuberías utilizados en la modalidad de riego a la demanda como por turnos, método analítico

Material	Diseño a la demanda	Diseño por turnos
Tubería (E/C)	3122.26	2555.34
Tubería (U/Z)	3822.16	2862.40
Tubería de Polietileno	5277.06	3664.82
Tubería de PRFV	62372.99	57062.58
Tubería de Fibrocemento	78148.44	71494.92

FUENTE. LA AUTORA

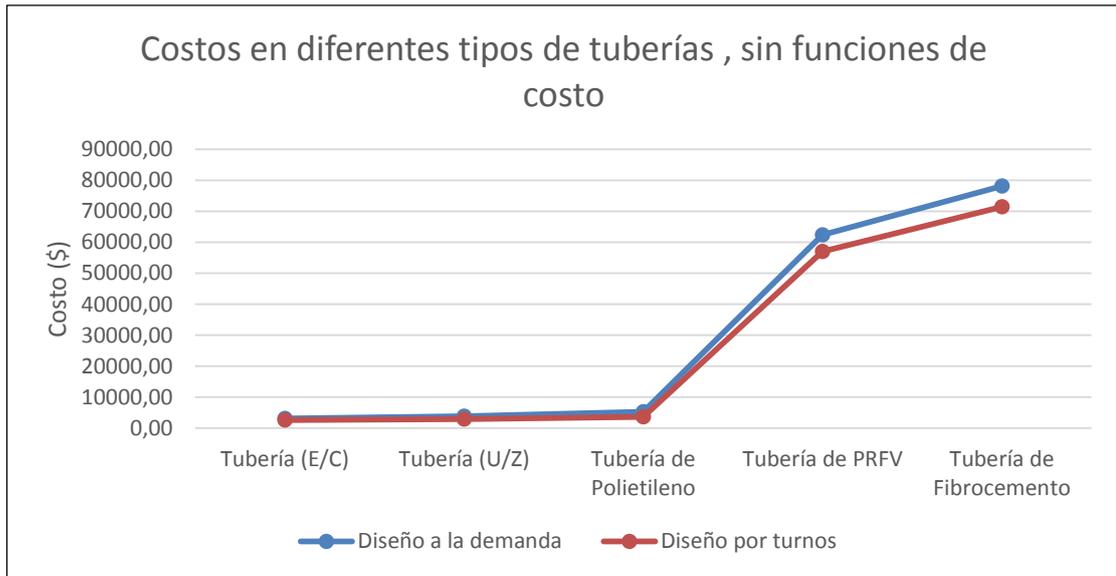


Ilustración 34. Comparación de costes en diferentes tipos de tuberías, método analítico.

FUENTE. LA AUTORA

De acuerdo a la ilustración (34) se puede verificar que los costos más elevados se obtienen en el diseño a la demanda debido a que se utilizan conductos con diámetros mayores lo que influye a que el costo aumente en relación a la modalidad de riego por turnos.

En la tabla (15) se presenta el resumen de los costos en los diferentes tipos de tuberías utilizando los coeficientes de las funciones de coste investigadas y el método analítico tanto en la modalidad de riego por turnos como a la demanda:

Tabla 15. Costos en diferentes tipos de tuberías, modalidad de riego por turnos

Material	Sin funciones de costo	Con funciones de costo
Tubería (E/C)	2555.34	2435.06
Tubería (U/Z)	2862.40	2424.27
Tubería de Polietileno	3664.82	3720.62
Tubería de PRFV	57062.58	13248.76
Tubería de Fibrocemento	71494.92	15629.84

FUENTE. LA AUTORA

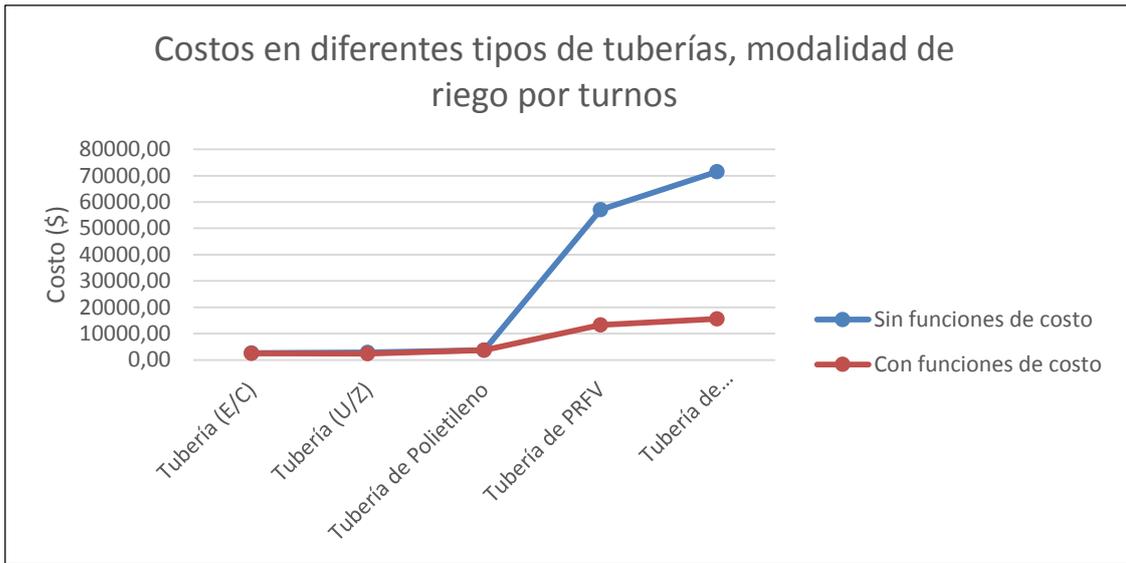


Ilustración 35. Costos en diferentes tipos de tuberías, modalidad de riego por turnos

FUENTE. LA AUTORA

Tabla 16. Costos en diferentes tipos de tuberías, modalidad de riego a la demanda

Material	Sin funciones de costo	Con funciones de costo
Tubería (E/C)	3122.26	3489.17
Tubería (U/Z)	3822.16	3521.08
Tubería de Polietileno	5277.06	5331.47
Tubería de PRFV	62372.99	16813.08
Tubería de Fibrocemento	78148.44	20981.76

FUENTE. LA AUTORA

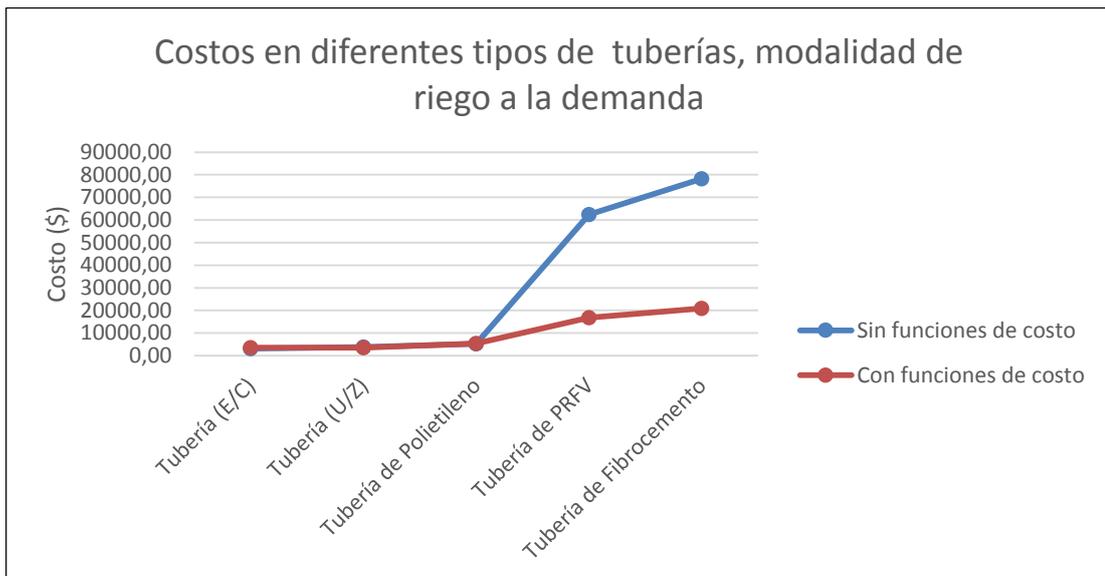


Ilustración 36. Comparación de costes en diseño a la demanda, método analítico y funciones de coste.

FUENTE. LA AUTORA

De acuerdo a las ilustraciones (35 y 36) se observa que los costos obtenidos en ambos métodos son parecidos excepto utilizando tuberías de PRFV y Fibrocemento cuyos valores son más elevados en el diseño a la demanda y sin utilizar funciones de costo.

8.5 Diseño de la red y ramal sectorial II a la demanda, mediante el software

Diopram.

Se verificó que el diseño emitido por el programa presenta valores similares a los obtenidos de forma analítica en las hojas de cálculo de Microsoft Excel.

Tabla 17. Costos en tuberías en metros, en la red completa diseñada a la demanda en el software Diopram, material (E/C)

Descripción	Cantidad (m)	Precio(\$/metro)	Total (USD)
Suministro de tubería PVC E/C 32 mm 1,25 MPa	808.14	1.00	808.14
Suministro de tubería PVC E/C 40 mm 1,25 MPa	602.92	1.60	964.67
Suministro de tubería PVC E/C 50 mm 1,25 MPa	468.66	2.31	1082.60
Suministro de tubería PVC E/C 63 mm 1,25 MPa	523.90	3.17	1660.76
Suministro de tubería PVC E/C 75 mm 1,25 MPa	503.77	3.39	1707.78
Suministro de tubería PVC E/C 110 mm 1,25 MPa	19.24	9.30	178.93
TOTAL (USD)=			6402.89

FUENTE. LA AUTORA

Tabla 18. Costos en tuberías en metros en el ramal sectorial II diseñado a la demanda en el software Diopram material (E/C)

Descripción	Cantidad (m)	Precio(\$/metro)	Total (USD)
Suministro de tubería PVC U/Z 32 mm 1,25 MPa	873.24	1.00	873.24
Suministro de tubería PVC U/Z 40 mm 1,25 MPa	236.35	1.60	378.16
Suministro de tubería PVC U/Z 50 mm 1,25 MPa	128.00	2.31	295.68
Suministro de tubería PVC U/Z 63 mm 1,25 MPa	13.34	3.17	42.29
Suministro de tubería PVC U/Z 75 mm 1,25 MPa	267.40	3.39	906.49
TOTAL (USD)=			2495.86

FUENTE. LA AUTORA

En las tablas (17 y 18) se observa que los costes obtenidos en tuberías tanto en la red completa y el ramal Sectorial II mediante el software Diopram son mínimos a los presentados

por el método analítico, esto debido a que el software Diopram presenta un diseño más económico al ajustar los diámetros.

A continuación se presenta un resumen de costos obtenidos con los diferentes tipos de tuberías en el software Diopram:

Tabla 19. Costos en tuberías del ramal Sectorial II en la modalidad de riego a la demanda en el software Diopram

Material	Software Diopram
Tubería (U/Z)	3705.05
Tubería (E/C)	2495.86
Tubería de polietileno	4949.14
Tubería de PRFV	60310.15

FUENTE. LA AUTORA

De acuerdo a la tabla (19) se observa que el costo es mayor utilizando tuberías de PRFV con un valor de \$ 60310.15 dólares.

8.6 Modelación del ramal sectorial I diseñado por turnos en periodo estacionario en el software Epanet.

En la ilustración (37) se muestra el análisis de los perfiles longitudinales de presión del ramal sectorial I diseñado por turnos en el software Epanet.

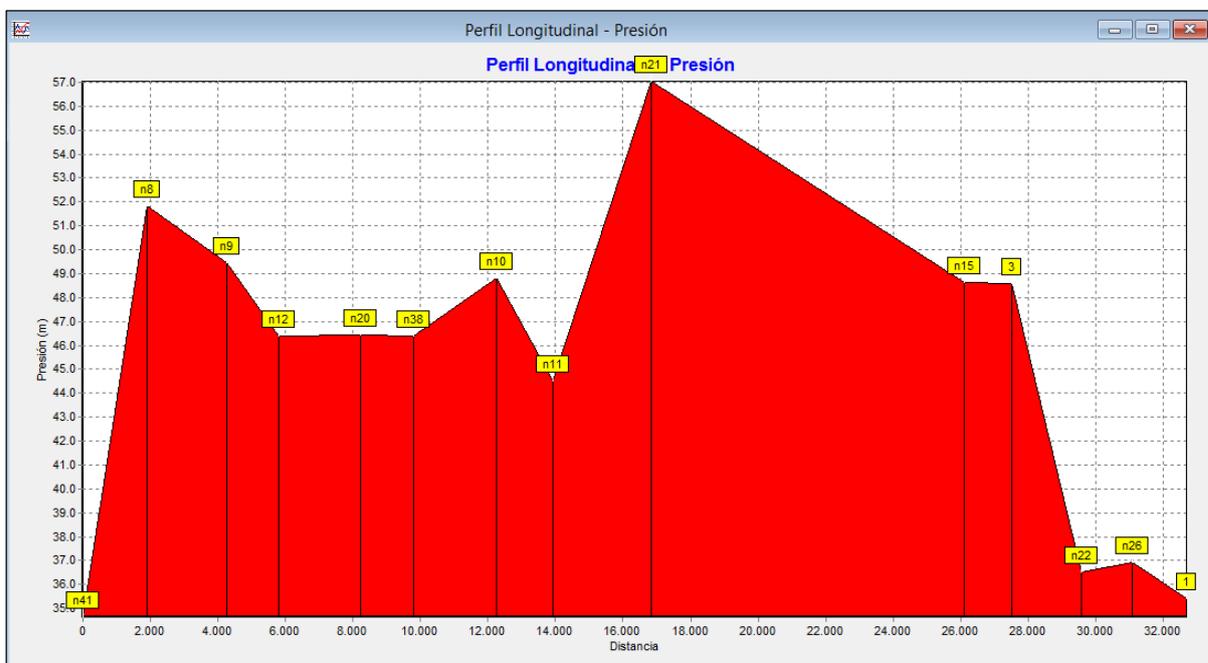


Ilustración 37. Perfil longitudinal de presión en el ramal Sectorial I, en la modalidad de riego por turnos.

FUENTE. LA AUTORA

Las presiones de los puntos de estudio corresponden al ramal Sectorial I, las mismas que muestran un comportamiento variable permitiendo diferenciar claramente las presiones con valores pico y valle. Las presiones pico en los nudos 8, 9, 10, 21, 15, 3 y 26, presentan valores de 51.82, 49.48, 48.79, 57.04, 48.64, 48.60, y 36.91 m.c.a. respectivamente. Mientras que las presiones valle en los nudos 41, 12, 20, 38, 11, 22, y 1 muestran valores de 34.64, 46.38, 46.45, 46.40, 44.52, 36.50, y 35.42 m.c.a. respectivamente.

8.7 Modelación del ramal sectorial I diseñado por turnos en periodo extendido en el software Epanet.

Se procedió a modelar el ramal sectorial I de manera más real mediante la creación de curvas de modulación y de esta manera la demanda varíe de forma periódica a lo largo del día. Para obtener las curvas de modulación se tomó en cuenta la jornada efectiva de riego y los nudos que disponen de hidrantes. En este caso se realizó la simulación para una jornada efectiva de 12 horas. Los coeficientes se asignaron haciendo una estimación del consumo de agua en intervalos de 6 horas para el primer turno y 6 horas para el segundo turno, con valores de 2.53. En el patrón de tiempo propuesto la modelación del sistema empieza a las 06 h00 y termina a las 18 h00.

En las ilustraciones (38 y 39) se muestran las curvas de modulación utilizadas para el diseño por turnos.



Ilustración 38. Curva de modulación para el turno 1.

FUENTE. LA AUTORA



Ilustración 39. Curva de modulación para el turno 2.

FUENTE. LA AUTORA

8.8 Modelación del ramal sectorial II diseñado a la demanda en periodo estacionario en el software Epanet.

En la ilustración (40) se muestran los puntos de presiones pico y valle del ramal sectorial II, las presiones pico en los nudos 13, 16, 5 y 18, presentan valores de 26.65, 40.14, 24.65 y 17.59 m.c.a., respectivamente mientras que las presiones valle en los nudos 36, 14, 6, 19, 4, 17, 31, 2, 3 y 1 muestran valores de 24.24, 26.14, 20.85, 3.78, 16.12, 13.75, 12.69, 14.38, 14.84 y 14.99 m.c.a., cumpliendo con los valores mínimos y máximos de presión requerida en el ramal.

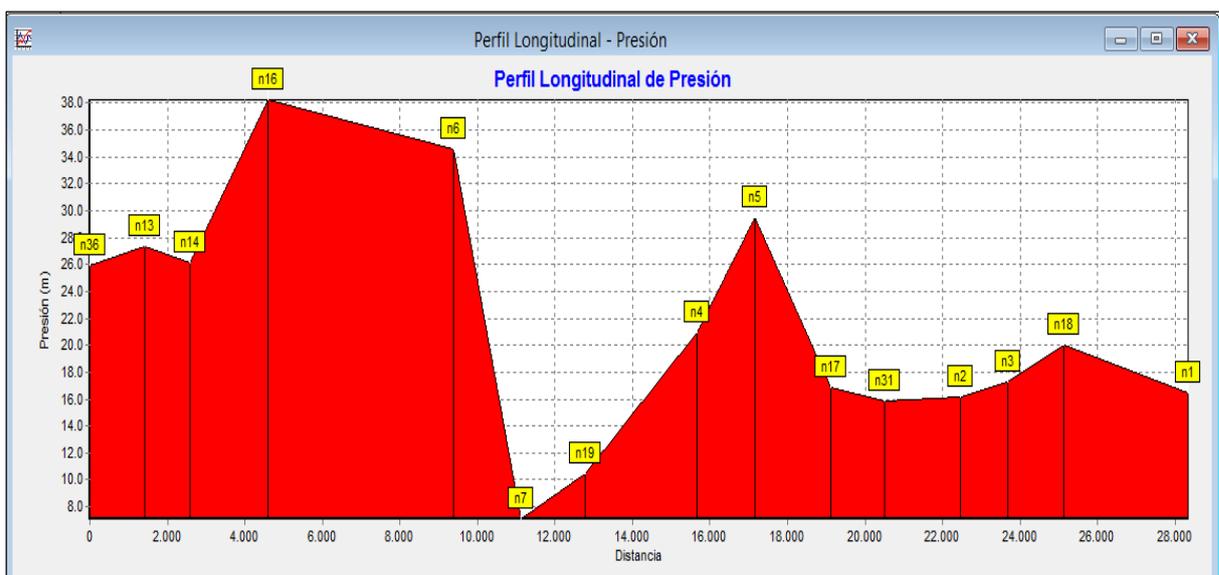


Ilustración 40. Perfil longitudinal de presión en el ramal Sectorial II, en la modalidad de riego a la demanda.

FUENTE. LA AUTORA

8.9 Modelación del ramal sectorial II diseñado a la demanda en periodo extendido en el software Epanet.

Para la simulación del ramal Sectorial II se utilizó una jornada efectiva de riego de 12 horas y una curva de modulación para todo el sistema. Los coeficientes se asignaron haciendo una estimación del consumo de agua por hora, con valores constantes de 0.643. En el patrón propuesto la modelación del sistema comienza a las 00h00 y termina a las 12 h00.

8.10 Gráfica de balance de caudales.

Una de las opciones que presenta Epanet es la obtención de gráficas de balance de caudales, que representa la variación de la producción total y de consumo total del sistema a lo largo de todo el periodo de simulación. Para el caso de estudio tanto a la demanda como por turnos de riego el caudal producido satisface la demanda de caudal consumido, cumpliendo con los requisitos de diseño.

8.11 Curvas de evolución temporal

Se muestran las curvas de evolución temporal para el análisis de la presión, el caudal y las pérdidas unitarias, tanto en la modalidad de riego a la demanda y por turnos.

Primero se analizó la presión de los nudos más críticos del ramal se puede observar que durante las 24 horas de simulación el sistema diseñado por turnos presenta presiones constantes en los nudos más críticos con valores que oscilan entre 48. 76 y 64. 66 m.c.a., cumpliendo con las presiones mínimas y máximas. Ver ilustración (41).

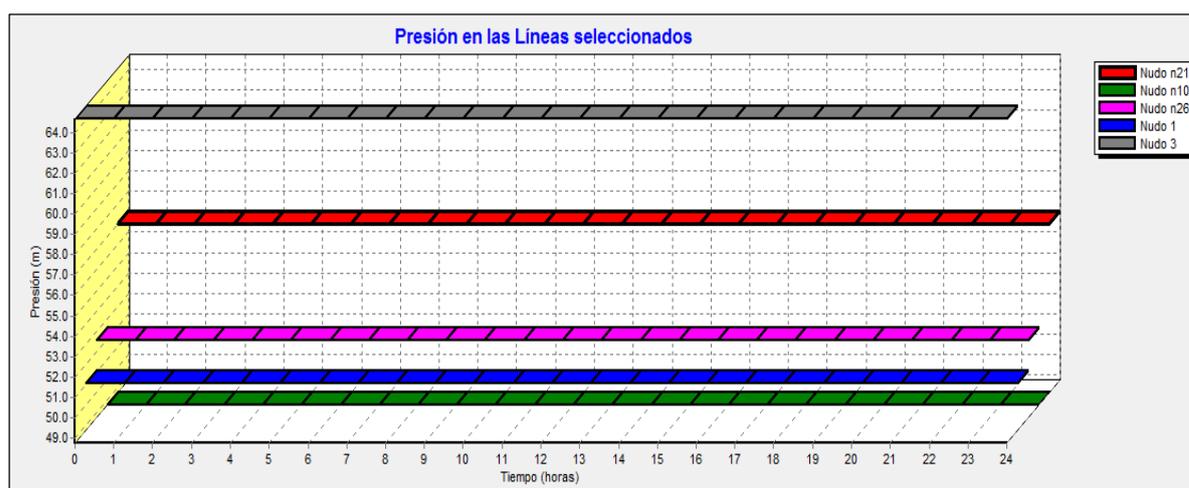


Ilustración 41. Curva de evolución temporal de la presión en la modalidad de riego por turnos.
FUENTE. LA AUTORA

Las pérdidas de carga unitarias en conducciones juegan un papel muy importante en el dimensionamiento de la red, hay que recalcar que con el empleo de tuberías de mayor diámetro se consiguen pérdidas menores, aunque con un costo mayor de adquisición.

8.12 Gráficas de frecuencia

Las gráficas de frecuencia muestran regiones del plano donde los valores están en intervalos determinados. En el ramal diseñado por turnos se tomaron las gráficas de frecuencia a las 13h00 como hora en la cual existe un mayor consumo en la red. Las gráficas de frecuencia indican que para el sistema diseñado por turnos, el 95% de las presiones están por debajo de 70 m.c.a., y menos del 50% del ramal presenta presiones por debajo de 51 m.c.a. Para el sistema a la demanda el 95% del ramal presenta presiones inferiores a 45 m.c.a., y menos del 50% presiones de 27 m.c.a.

Las gráficas de distribución de velocidad en la modalidad de riego por turnos el 95% de los valores se mantienen por debajo de 1.27 m/s y el 75% con valores menores a 0.6 m/s, cumpliendo con valores máximos de diseño. En cuanto a la modalidad de riego a la demanda el 95% del ramal presenta valores que se mantienen por debajo de 2.1 m/s y menos del 50% con valores menores a 0.6 m/s cumpliendo con los valores máximos y mínimos de diseño.

8.13 Gráficas del consumo energético.

Con las gráficas obtenidas en Epanet para una altura de bombeo de 10 metros la bomba utilizada mostró un consumo de 0.17 Kw-h/m³ en la modalidad de riego por turnos, y en la modalidad de riego a la demanda presentó un consumo de 0.16 Kw-h/m³, mientras que en la red completa se obtuvo un valor de 0.06 Kw-h/m³.

En las ilustración (42) se muestran los costos totales del consumo energético por día para las modalidades de riego por turnos y a la demanda:

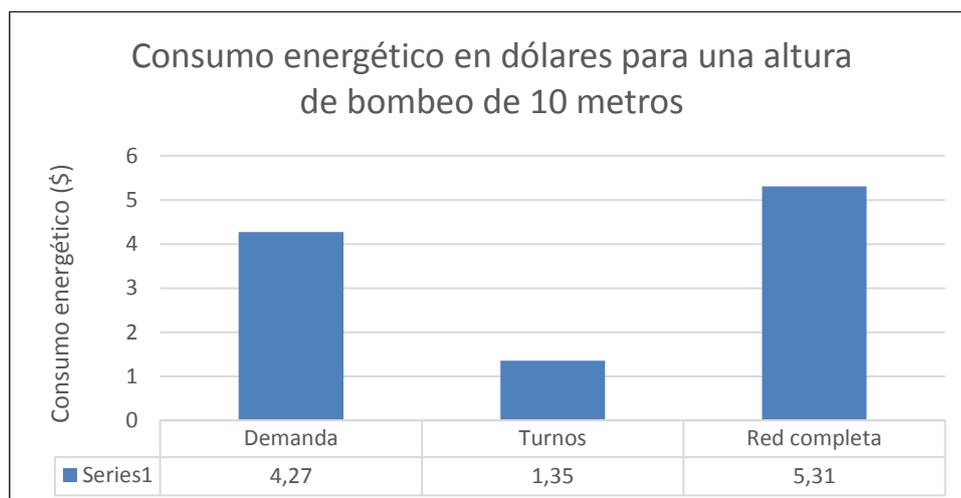


Ilustración 42. Consumo energético en dólares para una altura de bombeo de 10 metros en los ramales de la red y la red completa.

FUENTE. LA AUTORA

En la modalidad de riego por turnos se observa que para una altura de bombeo de 10 metros el costo energético es de \$ 1.35 dólares por día, mientras que en la modalidad de riego a la demanda para una altura de bombeo de 10 metros el coste es de \$ 4.27 dólares por día en el ramal Sectorial II y \$ 5.31 dólares por día en la red completa. Se comprueba que el sistema de riego por turnos es más económico energéticamente con una reducción de \$ 2.92 dólares por día.

En el Anexo (18) se muestran las simulaciones realizadas en Epanet de la red completa y de los ramales con sus presiones y velocidades.

8.14 Presupuesto referencial en los ramales sectorial I y sectorial II de la red con bomba método analítico y utilizando funciones de costo.

En la tabla (20) se muestra un presupuesto referencial en el ramal de la red diseñado por turnos utilizando el costo real \$71135 dólares de una bomba de 15 Kw.

Tabla 20. Presupuesto referencial del ramal diseñado por turnos utilizando una bomba de 15 Kw sin funciones de costo

Descripción	Cantidad (m)	Precio (\$/m)	Total (USD)
Suministro de tubería PVC (E/C) 32 mm, 1.25 MPa	177.66	1.00	177.66
Suministro de tubería PVC (E/C) 40 mm, 1.25 MPa	592.47	1.60	947.95
Suministro de tubería PVC (E/C) 50 mm, 1.25 MPa	618.93	2.31	1429.73
Bomba centrífuga de 15 Kw	1.00		71135.00
TOTAL (USD)=			73690.34

FUENTE. LA AUTORA

Para obtener el presupuesto referencial en el ramal utilizando funciones de coste se calcula el costo de la bomba utilizando la ecuación (46):

$$Ct = 24899 \cdot x^{0.3876} \quad \text{Ec. 46}$$

Se reemplazan los valores de la ecuación para una potencia de 15 Kw

$$Ct = 24899 \cdot 15^{0.3876}$$

$$Ct = \$ 71127$$

En la tabla (21) se presenta el presupuesto referencial en el ramal sectorial II de la red utilizando una bomba de 15 Kw.

Tabla 21. Presupuesto referencial del ramal de la red diseñado a la demanda utilizando una bomba de 15 Kw, sin funciones de costo

Descripción	Cantidad (m)	Precio (\$/m)	Total (USD)
Suministro de tubería PVC (E/C) 32 mm, 1.25 MPa	200.42	1.00	200.42
Suministro de tubería PVC (E/C) 40 mm, 1.25 MPa	754.67	1.60	1207.47
Suministro de tubería PVC (E/C) 50 mm, 1.25 MPa	154.50	2.31	356.90
Suministro de tubería PVC (E/C) 63 mm, 1.25 MPa	128.00	3.17	405.76
Suministro de tubería PVC (E/C) 75 mm, 1.25 MPa	280.74	3.39	951.71
Bomba centrífuga de 15 Kw	1.00		71135.00
TOTAL (USD)=			74257.26

FUENTE. LA AUTORA

En la tabla (22) se presenta un resumen de presupuestos referenciales, con los diferentes materiales de tuberías incluida la bomba de 15 Kw, sin funciones de costo.

Tabla 22. Presupuesto referencial, en los ramales de la red utilizando bomba de 15 Kw, sin funciones de costo

Material	Diseño a la demanda	Diseño por turnos
Tubería (U/Z)	74957.16	73997.40
Tubería (E/C)	74257.26	73690.34
Tubería de polietileno	76412.06	74799.82
Tubería de PRFV	133507.99	128197.58
Tubería de Fibrocemento	149283.44	142629.92

FUENTE. LA AUTORA

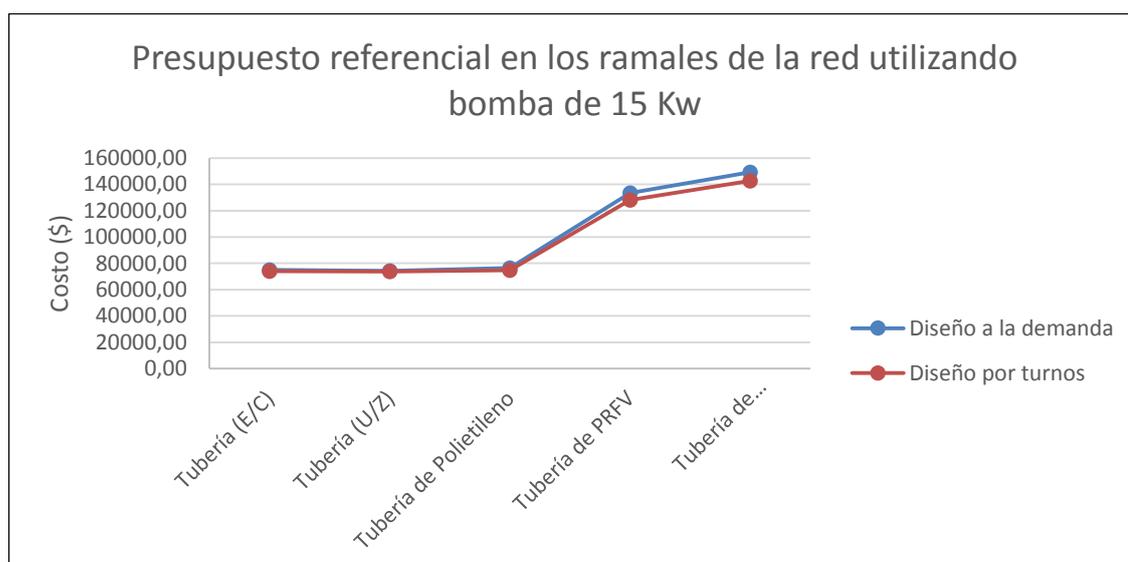


Ilustración 43. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando bomba de 15 Kw, sin funciones de costo.

FUENTE. LA AUTORA

Se puede apreciar que el costo más económico en el caso de utilizar bombeo en los ramales de la red se consigue en la modalidad de riego por turnos.

En la tabla (23) se presenta un resumen de presupuestos referenciales con los diferentes materiales de tuberías incluida la bomba de 15 Kw, utilizando el valor obtenido de la ecuación (46).

Tabla 23. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando bomba de 15 Kw con funciones de coste

Material	Diseño a la demanda	Diseño por turnos
Tubería (U/Z)	74949.16	73989.40
Tubería (E/C)	74249.26	73682.34
Tubería de polietileno	76404.06	74791.82
Tubería de PRFV	133500.00	128189.58
Tubería de Fibrocemento	149275.44	142621.92

FUENTE. LA AUTORA

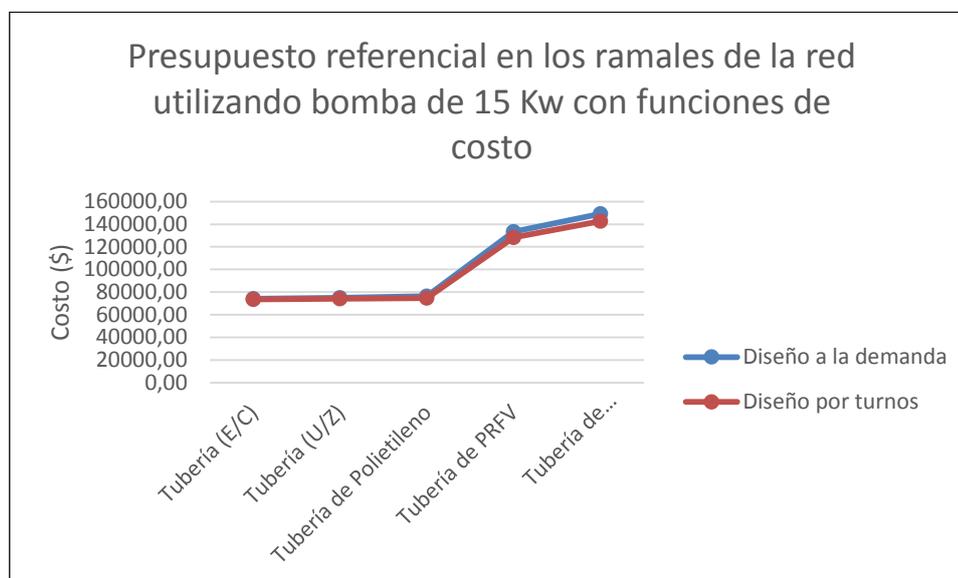


Ilustración 44. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando bomba de 15 Kw con funciones de coste.

FUENTE. LA AUTORA

Utilizando funciones de coste se observa que el costo más económico se logra en el ramal diseñado por turnos.

8.15 Presupuesto referencial en los ramales sectorial I y sectorial II de la red utilizando un depósito superficial, método analítico y utilizando funciones de costo.

En la tabla (24) se muestra un presupuesto referencial del ramal sectorial I de la red diseñado por turnos, utilizando un depósito superficial.

El depósito utilizado para este ramal tiene un volumen de 219 m³ con un costo de \$ 63509 dólares.

Tabla 24. Presupuesto referencial en el ramal de la red diseñado por turnos, utilizando un depósito superficial, sin funciones de costo

Descripción	Cantidad (m)	Precio (\$/m)	Total (USD)
Suministro de tubería PVC (E/C) 32 mm, 1.25 MPa	177.66	1.00	177.66
Suministro de tubería PVC (E/C) 40 mm, 1.25 MPa	592.47	1.60	947.95
Suministro de tubería PVC (E/C) 50 mm, 1.25 MPa	618.93	2.31	1429.73
Depósito superficial	1.00		63509.00
		TOTAL (USD)=	66064.34

FUENTE. LA AUTORA

Para obtener el presupuesto referencial en el ramal sectorial II, utilizando funciones de coste se obtiene el coste de los depósitos utilizando la ecuación (47), la misma que depende del volumen.

$$Ct = 491.99 \cdot x^{0.8999} \quad \text{Ec. 47}$$

$$Ct = 491.99 \cdot 219^{0.8999}$$

$$Ct = \$ 62823$$

El depósito a utilizar en el ramal sectorial I diseñado por turnos tiene un volumen de 219 m³, con un costo de \$ 62823 dólares. En el ramal sectorial II diseñado a la demanda el depósito tiene un volumen de 666 m³, con un costo de \$ 170923 dólares.

En la tabla (25) se presenta el presupuesto referencial en el ramal sectorial II de la red utilizando un depósito superficial de 666 m³ con un costo de \$ 192295 dólares.

Tabla 25. Presupuesto referencial en el ramal de la red diseñado a la demanda, utilizando un depósito superficial, sin funciones de costo

Decripción	Cantidad (m)	Precio (\$/m)	Total (USD)
Suministro de tubería PVC (E/C) 32 mm, 1.25 Mpa	200,42	1,00	200,42
Suministro de tubería PVC (E/C) 40 mm, 1.25 Mpa	754,67	1,60	1207,47
Suministro de tubería PVC (E/C) 50 mm, 1.25 Mpa	154,50	2,31	356,90
Suministro de tubería PVC (E/C) 63 mm, 1.25 Mpa	128,00	3,17	405,76
Suministro de tubería PVC (E/C) 75 mm, 1.25 Mpa	280,74	3,39	951,71
Depósito superficial	1,00		192295,00
		TOTAL (USD)=	195417,26

FUENTE. LA AUTORA

En la tabla (26) se presenta un resumen de presupuestos referenciales, en los ramales de la red utilizando los diferentes materiales de tuberías incluido un depósito superficial, sin funciones de costo.

Tabla 26. Presupuesto referencial, en los ramales de la red utilizando un depósito superficial, sin funciones de costo

Material	Diseño a la demanda	Diseño por turnos
Tubería (U/Z)	196117.16	66371.40
Tubería (E/C)	195417.26	66064.34
Tubería de polietileno	197572.06	67173.82
Tubería de PRFV	254668.00	120571.58
Tubería de Fibrocemento	270443.44	135003.92

FUENTE. LA AUTORA

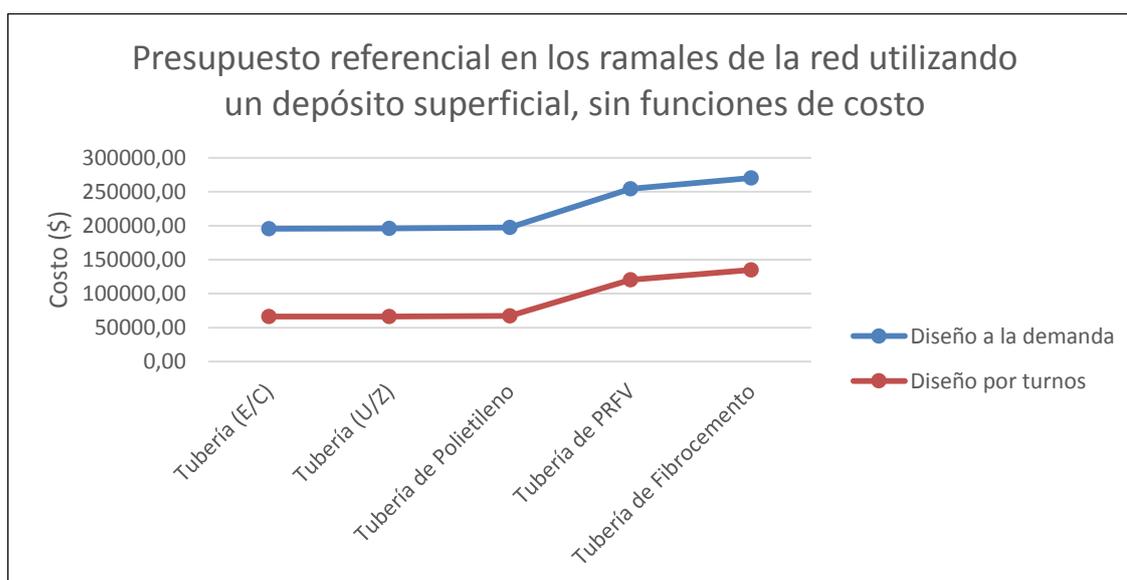


Ilustración 45. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando un depósito superficial, sin funciones de costo.

FUENTE. LA AUTORA

De acuerdo a la tabla (26) e ilustración (45) se puede observar que el presupuesto mínimo se obtiene en el ramal diseñado por turnos esto debido a que el ramal diseñado a la demanda utiliza un depósito con mayor volumen y las tuberías utilizadas tienen diámetros grandes. En la tabla (27) se presenta un resumen de presupuestos referenciales con los diferentes materiales de tuberías, incluido un depósito superficial, utilizando funciones de coste.

Tabla 27. Presupuesto referencial incluido IVA, en los ramales de la red utilizando un depósito superficial con funciones de costo

Material	Diseño a la demanda	Diseño por turnos
Tubería (U/Z)	174745.16	65685.40
Tubería (E/C)	174045.26	65378.34
Tubería de polietileno	176200.06	66487.82
Tubería de PRFV	233296.00	119885.58
Tubería de Fibrocemento	249066.44	134317.92

FUENTE. LA AUTORA

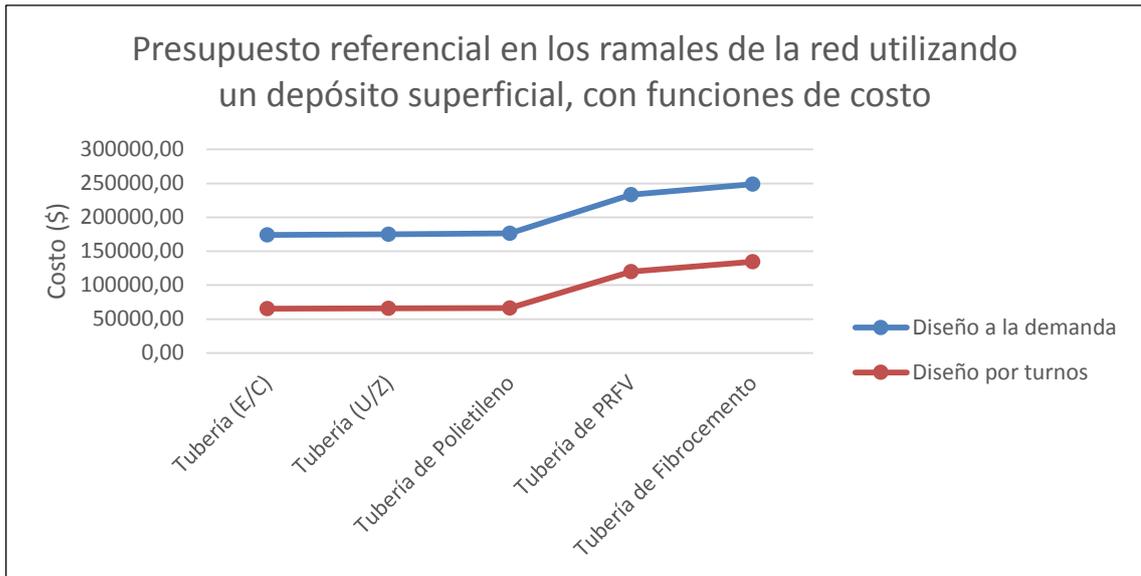


Ilustración 46. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando depósito superficial con funciones de coste.

FUENTE. LA AUTORA

De acuerdo a la ilustración (46) se observa que utilizando funciones de costo el presupuesto es mínimo en el ramal diseñado por turnos ya que el volumen del depósito es pequeño.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones.

- Al definir el caudal ficticio continuo que es un requisito base tanto en el diseño de riego por turnos como a la demanda, el software Cropwat, es una de las mejores herramientas, para la obtención de este.
- Se comprobó que el ramal diseñado a la demanda permite obtener un mayor costo debido a que se utilizan grandes diámetros de tuberías lo que tiende a elevar el presupuesto en relación al diseño de riego por turnos.
- Se verificó que los costos obtenidos por el método analítico y utilizando las funciones de coste tienen una diferencia mínima en ambos diseños, pero utilizando tubería de PRFV y Fibrocemento los costos son mayores por el método analítico, mientras que utilizando funciones de coste los valores son más ajustados.
- Se demostró que el presupuesto obtenido mediante el software Diopram es menor en relación al obtenido de forma analítica, esto se debe a que el software ajusta los diámetros de tuberías permitiendo obtener un diseño más económico.
- Se evidenció que el presupuesto en un diseño en el cual se utiliza depósito depende del volumen del mismo, ya que a mayor volumen el costo aumenta.
- Según la modelación de las redes tanto por turnos como a la demanda en los escenarios en periodo extendido, se observó que el balance de caudales es estable para las 24 horas de simulación, ya que el caudal producido satisface la demanda del caudal consumido en los dos ramales de la red.
- En el análisis de las presiones dinámicas por nudo en los perfiles longitudinales obtenidos en el software Epanet, se pudo evidenciar que los valores cumplen con los mínimos y máximos tanto en el ramal diseñado por turnos como a la demanda, en el caso de que las presiones sean mayores a las permisibles se han utilizado los tanque rompe presiones de tal manera que se reduzcan las mismas.
- Con las curvas de evolución temporal de las líneas de conducción en el sistema diseñado por turnos se verificó que con el empleo de tuberías de mayor diámetro se obtienen pérdidas de carga menores mientras que en el ramal y la red completa diseñados a la demanda se han obtenido pérdidas de carga mayores debido al uso de tuberías de menor diámetro.
- En las gráficas de frecuencia se verificó que los ramales diseñados tanto por turnos como a la demanda muestran un escenario de funcionamiento óptimo al cumplir los márgenes de presión mínimos de 10 mca y máximos de 70 mca.
- La simulación de los ramales de la red mediante el uso de una bomba de 15 Kw en los escenarios diseñados a la demanda y por turnos obtuvo un consumo energético y se

observó que el diseño por turnos es más económico con un ahorro de \$ 2.92 dólares por día equivalente al 68.38% para el escenario de 10 metros de altura de bombeo.

9.2 Recomendaciones.

- Se recomienda tomar en cuenta la acumulación de caudales en el diseño de riego por turnos ya que estos dependen del número de hidrantes y de los turnos asignados aguas abajo.
- Se recomienda ingresar de manera correcta los datos de entrada de nudos, líneas, cotas y longitudes de la red en el software Diopram, para evitar problemas y así obtener resultados similares a los obtenidos por el método analítico.
- En el trazado de la red se recomienda revisar la correcta ubicación de líneas, nudos, cotas, diámetros, longitudes y coeficientes del emisor a utilizar para evitar problemas al momento de la simulación en el software Epanet.

10 BIBLIOGRAFÍA

- ECODES. (2011 – 2026). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la Parroquia Cruzpamba. Celica – Loja – Ecuador.*
- Agua C. (1997). *Conducción.*
- Allasia D. (2000). *Estimación del diámetro económico de la tubería de un sistema de bombeo. Brasil.*
- Arviza J, Balbastre I, Gonzáles P. (2002). *Ingeniería rural hidráulica. Reproval S.L.*
- Briti S, Ajeet K, Pallave S, Preetam B. (2013). *Computation of least cost pipe network – an alternate method.*
- Cisneros R. (2003). *Apuntes de la materia de riego y drenaje. Pág. 26. México.*
- Gaete L. (2001). *Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado. Ed. Universidad de Talca.*
- García J, Iglesias P. (2003). *Introducción a las redes de abastecimiento, ecuaciones fundamentales. Pág. (1-5).*
- García J, Iglesias P. (s.f). *Abastecimiento de aguas. Cartagena.*
- García S. (2013). *Desarrollo e implementación de estrategias y herramientas en GESTAR para el dimensionado de redes de riego presurizadas con funcionamiento a turnos. Zaragoza.*
- Gonzales F. (2010). *Ubicación óptima de hidrantes multiuso en redes de riego a presión mediante el empleo del modelo de localización – asignación. (Tesis de Máster). Universidad Politécnica de Valencia. España.*
- Heaney J, Sample D. (s.f). *Cost Analysis and Financing of urban wáter infraestructura.*
- Iglesias P. (2003). *Ingeniería hidráulica en los abastecimientos de agua. Valencia.*
- Infotecnia. (27 de marzo del 2012). *El Riego.com. <http://info.elriego.com/category/riego-agricola/fundamentos-de-riego/>.*
- Jimenez A, García R. (2003). *Ingeniería hidráulica en los abastecimientos de agua. Valencia.*
- Lamaddalena N, Sagardoy J. (1993). *Performance analysis of on demand pressurized irrigation systems.*
- Lapo M. (2012). *Diseño óptimo de sistemas de riego a presión y su eficiencia hidro – energética, aplicación en el caso de Loja – Ecuador. Valencia – España.*
- Losada C. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Segunda edición Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería.*

- Losada A. (1988). *Fundamentos hidráulicos. España: Mundi – Prensa.*
- Marino M. (2010). *Mejora del riego para la reutilización de aguas residuales en las zona de Torrents de Valls (Tarragona).*
- Méndez M. (2010). *Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua. Publicaciones UCAB. Venezuela.*
- Merkley A. (s.f). *Economic pipe selection method, sprinkle, tricke irrigation lectures.*
- Montserrat J, Aldúan L, Barragan J. (2012). *¿ Turnos o demanda? En el proyecto de redes de distribución de riego a presión. España.*
- Mora L. (2007). *Costo unitario de tuberías. CIDIAT.*
- Nárvaez P, Galeano H. (s.f). *Ecuación de costos y función objetivo para la optimización del diseño de redes de flujo de líquidos a presión.*
- Pérez de la Cruz F. (2011). *Abastecimiento de aguas. Depósitos conceptos generales. Cartagena.*
- Pérez R. (1993). *Dimensionado óptimo de redes de distribución de agua ramificadas considerando los elementos de regulación. Cáp. 3 y 4. Valencia.*
- Pérez R. (2011). *Diseño de sistemas colectivos de riego a presión. España.*
- Pérez R, Iglesias P, Fuertes V. (2005). *Flujo estacionario de fluidos incompresibles en tuberías. Valencia. UPV.*
- Quevedo H. (1989). *Optimización del funcionamiento de las Unidades de bombeo y reserva del sistema de agua potable de la Ciudad de Loja. UTPL.*
- Saldarriaga J. (1998). *Hidráulica de tuberías. Colombia. McGRAW – HILLINTERAMERICANA S.A.*
- Santos L, Valero J, Picornell M, Trajuelo J. (2010). *El riego y sus tecnologías. España CREA – UCLM.*
- Srbislav B, Branislav M, Vojislav B. (2011). *Economic optimization of pipe diameter for complete turbulence. Serbia Elsevier B.V.*
- Swamee P, Sharma A. (2008). *Desing of wáter supply pipe networks. Canadá. A John Wiley y Sons Inc Publication.*
- Tarjuelo J. (2005). *El riego por aspersión. España. Centro regional de Estudios del Agua CREA.*

Tarjuelo J. (2005). *El riego y su tecnología. Tercera Edición. España Mundi - Prensa.*

Tarjuelo J, Moreno M, Planells P, Ortega J. (2006). *Presión y caudal necesarios en cabeceras de redes de riego a la demanda según la calidad de servicio deseada. España: Universidad de Castilla – La Mancha.*

Trapote A. (2013). *Infraestructuras hidráulicas sanitarias. Kadmos.*

V N. (2013). *Energy optimization of branched water networks implementation to a water infrastructure located in Cuenca (Spain) Madrid.*

11 ANEXOS

Anexo 1

Tabla 28. Diámetros y precios de tuberías de Polietileno

Precios de tuberías de Polietileno		
Presión	1	1.6
Mpa		
Diámetro Nominal	Precio	Precio
(mm)	(\$/m)	(\$/m)
20		0.67
25	0.86	0.86
32	1.14	1.38
40	1.49	2.22
50	2.34	3.40
63	3.67	5.38
75	5.19	7.52
90	7.47	10.60
110	10.55	15.42
125	13.47	19.95
140	16.90	24.85
160	22.07	32.62
180	27.92	41.23
200	34.45	50.84
250	53.56	79.15
315	85.19	125.62
400	137.03	202.89

FUENTE. "Catálogo de tuberías de Polietileno" (URALITA PE 100, 2007).

Anexo 2

Tabla 29. Diámetros y precios de tubería de PRFV

Diámetros (m)	Precios (\$/m)			
	0.6 MP	1 MP	1.6 MP	2 MP
0,1	40,37	40,51	41,08	
0,15	49,04	49,36	50,66	
0,2	61,21	61,82	64,25	
0,25	74,81	75,79	83,75	
0,3	107,99	108,99	109,92	126,6
0,35	116,58	117,82	123,64	135,5
0,4	122,15	126,27	131,82	136,4
0,45	145,93	150,38	162,03	163,5
0,5	159,34	163,47	175,33	183,2
0,6	196,32	203,82	217,36	231,1
0,7	253,67	266,62	296,1	312,9
0,8	311,45	328,96	375,71	401,9
0,9	363,36	383,3	429,62	460,4
1	435,42	459,93	494,22	529,4
1,1	535,3	560,67	647,56	671
1,2	602,58	631,56	751,04	812,7
1,3	693,71	755,26	858,74	907,6
1,4	740,85	811,01	929,07	1003
1,5	931,38	957,56	1082,4	

FUENTE. (Catálogo de tuberías PRFV, 2011).

Anexo 3

Tabla 30. Diámetros y precios de tuberías RIVAL para agua a presión, U/Z

Precios de tuberías RIVAL presión unión "R" NORMA NTE 1373				
Longitud (m)	Diámetro (mm)	Presión (MP)	NORMA	Precio (\$)
6	50	0.8	INEN	11.34
6	50	1.25	INEN	16.3
6	50	1	INEN	12.4
6	63	0.63	INEN	13.12
6	63	1.6	INEN	24
6	63	1.25	INEN	21.32
6	63	1	INEN	18.04
6	63	0.8	INEN	15.08
6	75	1.25	INEN	31.6
6	75	1	INEN	24.7
6	75	0.8	INEN	20
6	75	0.63	INEN	15.85
6	90	1.6	INEN	49.14
6	90	1.25	INEN	38.4
6	90	2	INEN	34.8
6	90	0.8	INEN	27.62
6	90	0.63	INEN	21.97
6	110	1.6	INEN	72.8
6	110	1.25	INEN	58.8
6	110	1	INEN	51.04
6	110	0.8	INEN	40.04
6	110	0.63	INEN	32.88
6	125	2	INEN	132.98
6	125	1.6	INEN	109.63
6	125	1.25	INEN	89.45
6	125	1	INEN	68.78
6	125	0.8	INEN	60.24
6	125	0.63	INEN	48.77
6	140	2	INEN	166.82
6	140	1.6	INEN	137.6
6	140	1.25	INEN	111.94
6	140	1	INEN	91.76
6	140	0.8	INEN	74.35
6	140	0.63	INEN	59.87
6	160	1.6	INEN	155
6	160	1.25	INEN	123.08
6	160	1	INEN	106.8
6	160	0.8	INEN	75.24
6	160	0.63	INEN	67.2
6	200	1.6	INEN	248
6	200	1.25	INEN	216.36
6	200	1	INEN	149.52
6	200	0.8	INEN	120.6

Precios de tuberías RIVAL presión unión "R" NORMA NTE 1373				
Longitud (m)	Diámetro (mm)	Presión (MP)	NORMA	Precio (\$)
6	200	0.63	INEN	104.04
6	225	2	INEN	432.2
6	225	1.6	INEN	356.24
6	225	1.25	INEN	287.5
6	225	1	INEN	237.08
6	225	0.8	INEN	193.35
6	225	0.63	INEN	154.15
6	250	1.6	INEN	380
6	250	1.25	INEN	328.56
6	250	1	INEN	255.32
6	250	0.8	INEN	194.68
6	250	0.63	INEN	170.76
6	315	1.6	INEN	655.2
6	315	1.25	INEN	491.6
6	315	1	INEN	418.76
6	315	0.8	INEN	347.72
6	315	0.63	INEN	258.32
6	355	1.6	INEN	794.84
6	355	1.25	INEN	686
6	355	1	INEN	601.08
6	355	0.8	INEN	503.67
6	355	0.63	INEN	353.68
6	400	1.6	INEN	1043.24
6	400	1.25	INEN	945
6	400	1	INEN	832
6	400	0.8	INEN	632
6	400	0.63	INEN	418.8
6	400	0.5	INEN	337.8
6	500	1.25	INEN	1445
6	500	1	INEN	1179
6	500	0.8	INEN	958
6	500	0.63	INEN	765
6	630	1.25	INEN	2295
6	630	1	INEN	1871
6	630	0.8	INEN	1520
6	630	0.63	INEN	1213

FUENTE. (Catálogo de tuberías RIVAL U/Z, 2013).

Tabla 31. Diámetros y precios de tuberías RIVAL presión ESPIGA CAMPANA

Precios de tuberías RIVAL presión unión "R" NORMA NTE 1373				
Longitud (m)	Diámetro (mm)	Presión (MP)	NORMA	Precio (\$)
6	20	2	INEN	3.52
6	25	1.6	INEN	3.8
6	32	1.25	INEN	6
6	40	1.25	INEN	9.58
6	40	1	INEN	7
6	50	0.8	INEN	10.8
6	50	1.25	INEN	13.88
6	50	1	INEN	11.09
6	63	0.63	INEN	12.5
6	63	1.6	INEN	22.5
6	63	1.25	INEN	19
6	63	1	INEN	15.5
6	63	0.8	INEN	12.75
6	75	1	INEN	20.36
6	75	0.8	INEN	17.2
6	75	0.63	INEN	15
6	90	1.6	INEN	47.09
6	90	1.25	INEN	36.8
6	90	1	INEN	33.64
6	90	0.8	INEN	26.48
6	90	0.63	INEN	20.2
6	110	1.6	INEN	69.47
6	110	1.25	INEN	55.8
6	110	1	INEN	47
6	110	0.8	INEN	37
6	110	0.63	INEN	28.5
6	125	2	INEN	130.84
6	125	1.6	INEN	107.85
6	125	1.25	INEN	88.01
6	125	1	INEN	71.71
6	125	0.8	INEN	55
6	125	0.63	INEN	44
6	140	2	INEN	163.89
6	140	1.6	INEN	135.17
6	140	1.25	INEN	109.96
6	140	1	INEN	90.15
6	140	0.8	INEN	65.7
6	140	0.63	INEN	54.5
6	160	1.6	INEN	146
6	160	1.25	INEN	115.2
6	160	1	INEN	102.12
6	160	0.8	INEN	76.8
6	160	0.63	INEN	65
6	200	1.6	INEN	262.4
6	200	1.25	INEN	199.2
6	200	1	INEN	147.2
6	200	0.8	INEN	115.8
6	200	0.63	INEN	94.5
6	225	2	INEN	423.91
6	225	1.6	INEN	349.39
6	225	1.25	INEN	281.97
6	225	1	INEN	232.54
6	225	0.8	INEN	173.9
6	225	0.63	INEN	139

FUENTE. (Catálogos de tuberías RIVAL (E/C), 2013).

Anexo 4

Tabla 32. Diámetros y precios de tuberías de FIBROCEMENTO

Precios de tuberías de FIBROCEMENTO			
Diámetro (mm)	Clase (A)	Unidad	Precio (\$)
500	10	m	955.16
600	10	m	1343.61
500	5	m	605.19
600	5	m	775.13
750	5	m	1094.91
350	7	m	366.84
400	7	m	458.33
450	7	m	568.77
500	7	m	688.68
750	7	m	1351.02
100	10	m	63.08
150	10	m	125.04
200	10	m	150.42
250	10	m	234.92
300	10	m	322.81
350	10	m	508.37
400	10	m	637.16
450	10	m	775.14
750	10	m	1851.39
900	10	m	2594.74
100	14	m	78.25
150	14	m	157.82
200	14	m	200.65
250	14	m	320.66
300	14	m	466.59
350	14	m	700.63
400	14	m	811.78
450	14	m	1021.48
500	14	m	1223.88
600	14	m	1733.85
750	14	m	2378.3
900	14	m	3431.87
100	5	m	51.47
150	5	m	88.95
200	5	m	113.67
250	5	m	153.06
300	5	m	199.06
350	5	m	320.16
400	5	m	394.38
450	5	m	476.25
900	5	m	1584.84
100	7	m	55.25
150	7	m	95.7
200	7	m	117.64
250	7	m	171.3

FUENTE. (Precios de tuberías de Clase A de Fibrocemento, 2011).

Anexo 6

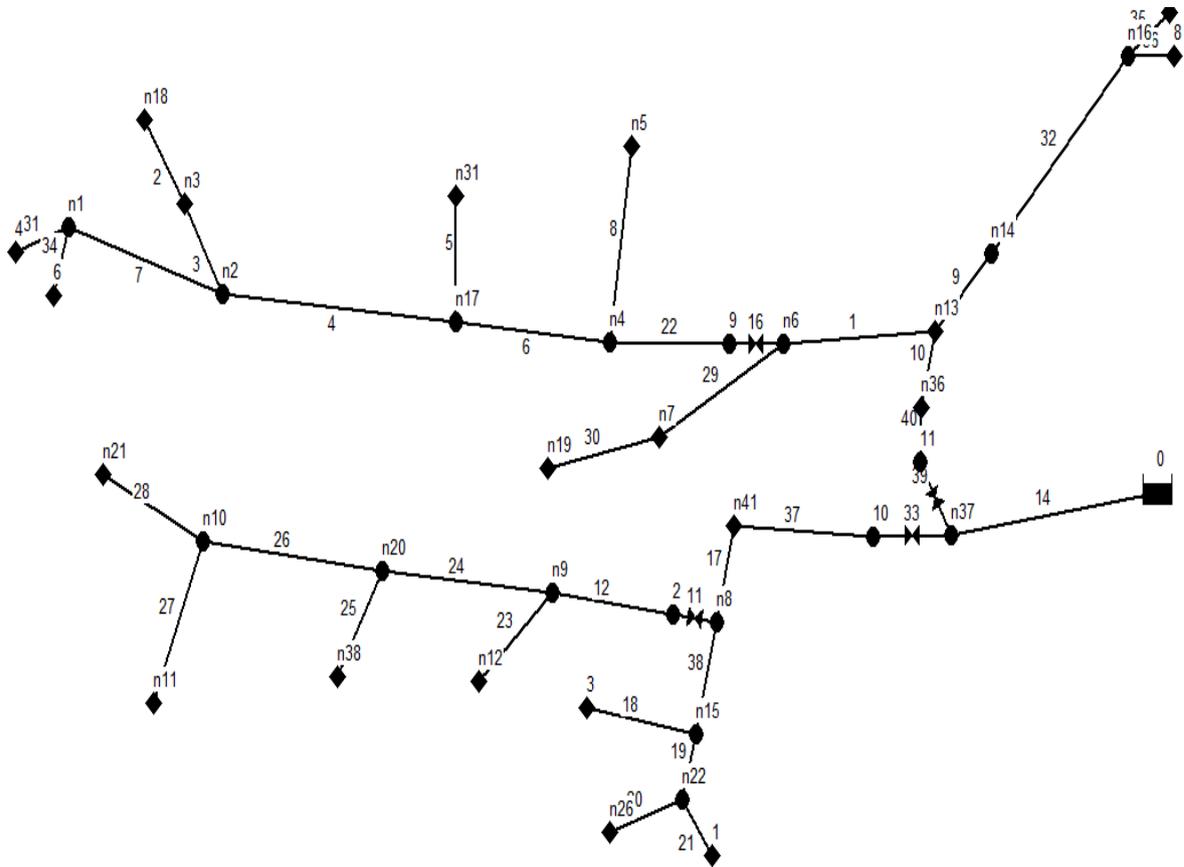


Ilustración 48. Esquema de topología de la red del Proyecto de riego del Barrio Patuco.
FUENTE. (RIDRENSUR, 2012).

Anexo 7

Cálculo del Caudal ficticio continuo en Cropwat

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	8.5	25.3	92	180	5.6	18.1	3.40
Febrero	8.5	24.5	94	157	4.8	17.1	3.17
Marzo	9.0	24.0	93	184	4.8	17.0	3.11
Abril	9.1	24.5	92	189	5.9	17.9	3.22
Mayo	9.3	25.6	90	212	7.2	18.5	3.41
Junio	6.4	24.9	85	258	8.2	19.1	3.56
Julio	7.5	25.9	82	323	9.5	21.2	4.07
Agosto	8.5	25.5	83	287	9.3	22.3	4.15
Septiembre	8.5	25.0	84	245	8.5	22.3	4.12
Octubre	8.9	24.8	83	244	7.9	21.9	4.07
Noviembre	8.2	28.5	84	206	7.0	20.2	4.23
Diciembre	7.5	27.6	89	194	6.8	19.7	3.94
Promedio	8.3	25.5	88	223	7.1	19.6	3.70

Ilustración 49. Datos climáticos del sector ingresados en el software Cropwat.

FUENTE. LA AUTORA

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	169.0	123.3
Febrero	263.2	151.3
Marzo	310.3	156.0
Abril	173.0	125.1
Mayo	57.0	51.8
Junio	8.7	8.6
Julio	2.7	2.7
Agosto	2.6	2.6
Septiembre	7.8	7.7
Octubre	18.9	18.4
Noviembre	26.9	25.8
Diciembre	79.8	69.6
Total	1120.0	742.9

Ilustración 50. Precipitaciones mensuales ingresadas en el software Cropwat.

FUENTE. LA AUTORA

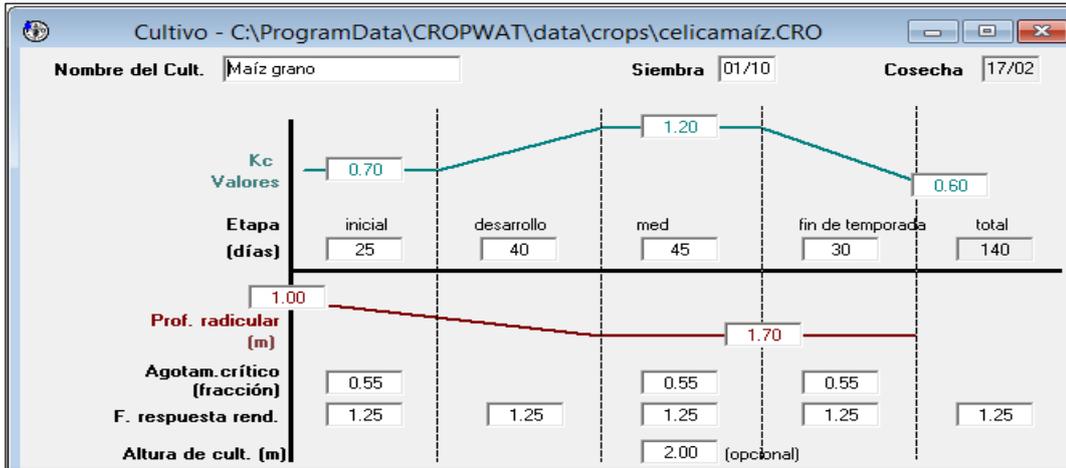


Ilustración 51. Datos de maíz en grano ingresados en el software Cropwat.

FUENTE. LA AUTORA

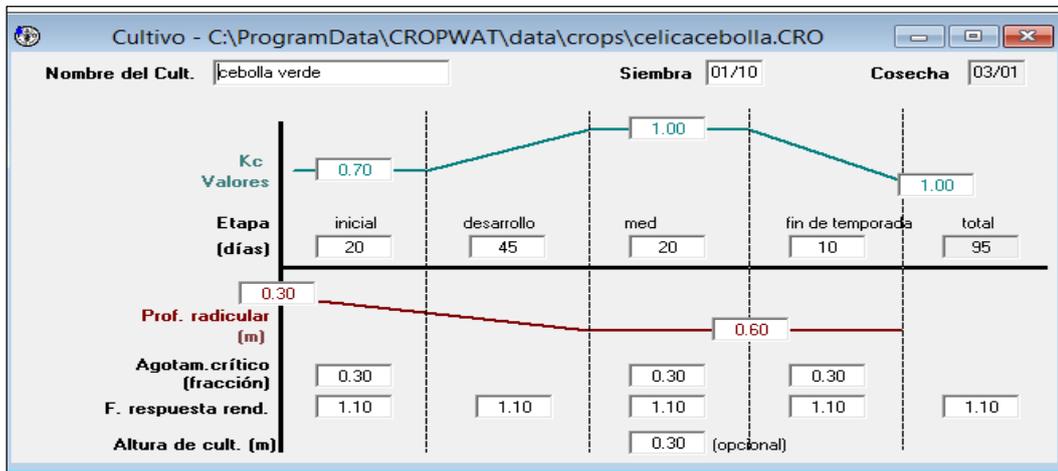


Ilustración 52. Datos de cebolla verde ingresados en el software Cropwat.

FUENTE. LA AUTORA

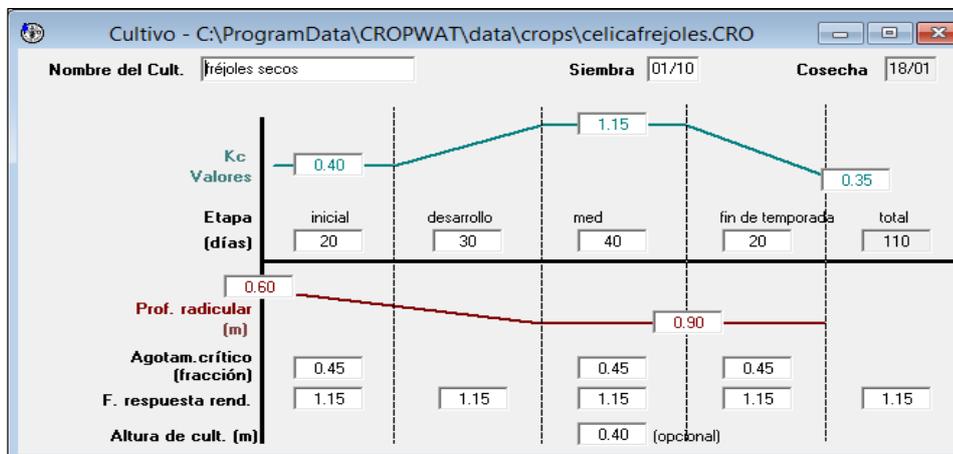


Ilustración 53. Datos de frijoles ingresados en el software Cropwat.

FUENTE. LA AUTORA

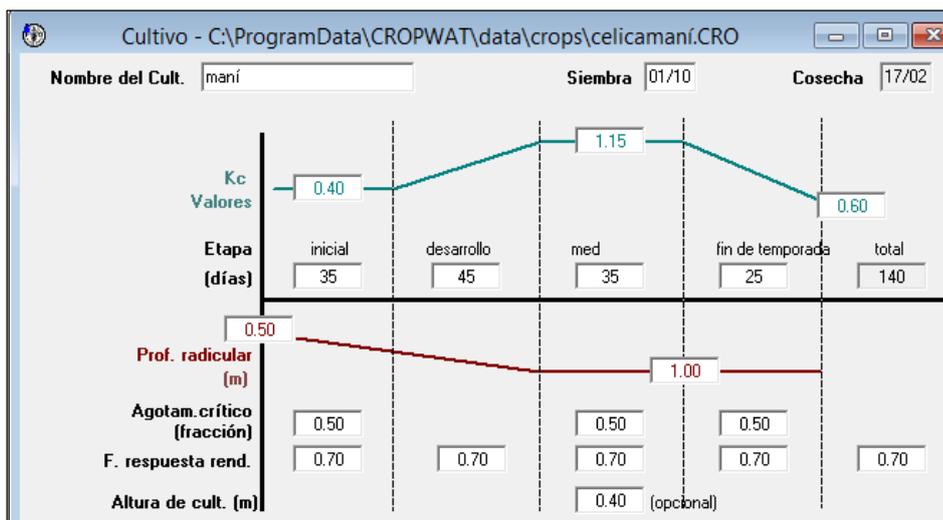


Ilustración 54. Datos de maní ingresados en el software Cropwat.

FUENTE. LA AUTORA

Suelo - C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\suelocelica.SOI

Nombre del suelo

Datos generales de suelo

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	<input type="text" value="180.0"/>	mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	<input type="text" value="42"/>	mm/día
Profundidad radicular máxima	<input type="text" value="200"/>	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	<input type="text" value="0"/>	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	<input type="text" value="180.0"/>	mm/metro

Ilustración 55. Ingreso de datos del suelo en el software Cropwat.

FUENTE. LA AUTORA

Patrón de cultivo - C:\ProgramData\CROPWAT\data\sessions\celicapatron.PAT

Nombre de patrón de cultivo

No.	Archivo de cultivo	Nombre del cult.	Siembra fecha	Cosecha fecha	Área %
1.	<input type="text" value="celicamaíz.CRO"/>	<input type="text" value="Maíz grano"/>	<input type="text" value="01/10"/>	<input type="text" value="17/02"/>	<input type="text" value="50"/>
2.	<input type="text" value="celicacebolla.CRO"/>	<input type="text" value="cebolla verde"/>	<input type="text" value="01/10"/>	<input type="text" value="03/01"/>	<input type="text" value="25"/>
3.	<input type="text" value="celicafrejoles.CRO"/>	<input type="text" value="fréjoles secos"/>	<input type="text" value="01/10"/>	<input type="text" value="18/01"/>	<input type="text" value="10"/>
4.	<input type="text" value="celicamaní.CRO"/>	<input type="text" value="maní"/>	<input type="text" value="01/10"/>	<input type="text" value="17/02"/>	<input type="text" value="15"/>

Ilustración 56. Patrón de cultivos ingresados en el software Cropwat.

FUENTE. LA AUTORA

Aprovisionamiento del sistema												
ETo estación	CELICA										Patrón de cultivo	P. Cruzpamba
Est. de lluvia	CELICA											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Déficit de Precipitación												
1. Maíz grano	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71.8	99.4	82.2
2. cebolla verde	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72.7	87.0	56.0
3. fréjoles secos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.8	104.9	74.5
4. maní	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.6	49.7	61.4
Req. Netos sistema												
en mm/día	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	2.3
en mm/mes	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.0	89.4	71.8
en l/s/h	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.34	0.27
Area Irrigada	65.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
(% del area total)												
Req. de riego area real	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.34	0.27
(l/s/h)												

Ilustración 57. Caudal ficticio continuo obtenido del software Cropwat.

FUENTE. LA AUTORA

Anexo 8

Tabla 33. Diseño hidráulico del ramal sectorial II, modalidad de riego a la demanda

Línea / Nudo	Cota (m)	Q DISEÑO (l/s)	Longitud (m)	Diam (mm)	D. com. (mm)	v (m/s)	Re	λ	hf (D-W) (m)	Altura piezométrica	P. estática (mca)	P. dinámica (mca)
0	935,000											
n36	896,000	7,717	267,400	81,504	75,000	1,747	136537,713	0,018	10,244	923,149	39,000	27,149
n13	893,000	6,751	13,340	76,966	75,000	1,528	119452,150	0,019	0,399	922,696	42,000	29,696
n14	889,000	1,360	76,470	38,734	40,000	1,082	45120,325	0,024	2,776	920,077	46,000	31,077
n16	837,000	1,360	201,100	38,734	40,000	1,082	45120,325	0,024	7,300	913,162	98,000	76,162
n6	867,000	4,031	128,000	61,704	63,000	1,293	84909,290	0,020	3,523	909,357	68,000	42,357
n7	883,000	2,104	154,500	46,702	50,000	1,072	55851,743	0,023	4,077	905,240	52,000	22,240
n19	877,000	1,360	81,850	38,734	40,000	1,082	45120,325	0,024	2,971	902,434	58,000	25,434
n4	850,000	1,927	166,000	44,969	40,000	1,533	63917,452	0,023	11,547	891,480	85,000	41,480
n5	841,000	0,065	82,090	10,532	32,000	0,081	2701,579	0,047	0,040	891,451	94,000	50,451
n17	847,000	1,861	49,000	44,310	40,000	1,481	61756,189	0,023	3,195	888,428	88,000	41,428
n31	848,000	0,062	15,000	10,283	32,000	0,077	2554,938	0,048	0,007	888,423	87,000	40,423
n2	840,000	1,800	67,450	43,676	40,000	1,432	59712,238	0,023	4,129	884,515	95,000	44,515
n3	838,000	0,440	43,060	23,877	32,000	0,547	18239,891	0,029	0,604	883,991	97,000	45,991
n18	835,000	0,054	60,270	9,718	32,000	0,067	2239,096	0,050	0,022	883,976	100,000	48,976
n1	834,000	1,360	112,800	38,734	40,000	1,082	45120,325	0,024	4,094	880,107	101,000	46,107

FUENTE. LA AUTORA

Anexo 9

Tabla 34. Diseño hidráulico del ramal sectorial I, modalidad de riego por turnos

Nudo	L(m)	Q. diseño (l/s)	D. teórico (mm)	D. comercial (mm)	Velocidad (m/s)	C. Terreno	Piezométrica	P. Estática	P. Dinámica
0						955,00	955,00		
n41	97,13	2,53	50,56	50,00	1,29	900,00	951,28	55,00	51,28
n8	125,9	2,53	50,56	50,00	1,29	880,00	946,52	75,00	66,52
n9	395,9	2,53	50,56	50,00	1,29	827,00	931,56	128,00	104,56
n12	43,06	1,27	37,57	40,00	1,01	830,00	930,28	125,00	100,28
n20	65,35	1,27	37,57	40,00	1,01	829,00	928,31	126,00	99,31
n38	21,95	1,27	37,57	40,00	1,01	829,00	927,66	126,00	98,66
n10	82,81	1,27	37,57	40,00	1,01	826,00	925,16	129,00	99,16
n11	45,32	0,63	27,91	32,00	0,79	830,00	924,07	125,00	94,07
n21	99,07	0,63	27,91	32,00	0,79	817,00	921,68	138,00	104,68
n15	166	1,27	37,57	40,00	1,01	881,00	916,67	74,00	35,67
3	20	1,27	37,57	40,00	1,01	881,00	916,09	74,00	35,09
n22	193,3	1,27	37,57	40,00	1,01	892,00	910,26	63,00	18,26
n26	17,03	0,63	27,91	32,00	0,79	891,50	909,86	63,50	18,36
1	16,24	0,63	27,91	32,00	0,79	893,00	909,47	62,00	16,47

FUENTE. LA AUTORA

INFORME



PROYECTO

TITULO: Proyecto 1

SUBTITULO: Sistema de Riego Patuco

FECHA: 27/07/2015

HORA: 23:01:32

CONTENIDO

DATOS GENERALES

DATOS DE LA RED

CAUDALES DE CLEMENT

GAMA DE MATERIALES

RESULTADOS DE LINEAS Y NUDOS

DESGLOSE DE MATERIAL A INSTALAR

Ilustración 58. Informe del Software Diopram del ramal sectorial II utilizando material Plastigama (E/C).

FUENTE. LA AUTORA

PROYECTO

TITULO: Proyecto 1

SUBTITULO: Sistema de Riego Patuco

FECHA: lunes, 27 julio, 2015

HORA: 23:01:32

DATOS GENERALES

DEFINICIÓN DEL NUDO DE CABECERA

Nudo de cabecera con altura conocida

Cota: 970,00 m

Presión: 10,00 mca

Identificativo: n0

DATOS ECONOMICOS

Volumen de agua anual: 0,00 m³

Plazo de amortización: 20 Años

Interés de la amortización 12,00 %

DEFINICION DEL PROBLEMA DE CAUDALES

Caudales de Clement con discriminación horaria

Caudal ficticio continuo: 0,34 (l/seg)/(Ha)

Jornada de riego: 12,00 h

Número máximo de hidrantes 20,00

COSTES ASOCIADOS A LAS ZANJAS PARA CADA TIPO DE TERRENO

	<u>Franco</u>	<u>Tránsito</u>	<u>Roca</u>	
Costes de excavación	0,00	0,00	0,00	Pta.
Costes de reposición y desbroce del firme	0,00	0,00	0,00	Pta.
Costes de relleno con material granular	0,00	0,00	0,00	Pta.
Costes de transporte a vertedero	0,00	0,00	0,00	Pta.
Costes de relleno seleccionado	0,00	0,00	0,00	Pta.
Costes de relleno indiferenciado	0,00	0,00	0,00	Pta.
Factor de esponjamiento	1,00	1,00	1,00	

PARAMETROS GENERALES DE DISEÑO

Velocidad máxima diseño	2,50 m/seg
Velocidad mínima diseño:	0,60 m/seg
Margen de seguridad en las pérdidas:	10,00%
Margen de seguridad en la presión:	10,00%
Tolerancia en la normalización:	5,00%

DATOS DE LA RED

LÍNEA	NUDO INICIAL	NUDO FINAL	Cota m	Caudal de Línea l/seg	Longitud m	Longitud equivalente m	Presión Mínima mca
n0 - n37	n0	n37	924,00	0,00	19,24	0,00	10,00
n37 - n36	n37	n36	896,00	0,00	267,40	0,00	10,00
n36 - n13	n36	n13	893,00	0,00	13,34	0,00	10,00
n13 - n14	n13	n14	889,00	0,00	76,47	0,00	10,00
n14 - n16	n14	n16	837,00	0,00	201,10	0,00	10,00
n13 - n6	n13	n6	867,00	0,00	128,00	0,00	10,00
n6 - n7	n6	n7	883,00	0,00	154,50	0,00	10,00
n7 - n19	n7	n19	877,00	0,00	81,85	0,00	10,00
n6 - n4	n6	n4	850,00	0,00	166,00	0,00	10,00
n4 - n5	n4	n5	841,00	0,00	82,09	0,00	10,00
n4 - n17	n4	n17	847,00	0,00	49,00	0,00	10,00
n17 - n31	n17	n31	848,00	0,00	15,00	0,00	10,00
n17 - n2	n17	n2	840,00	0,00	67,45	0,00	10,00
n2 - n3	n2	n3	838,00	0,00	43,06	0,00	10,00
n3 - n18	n3	n18	835,00	0,00	60,27	0,00	10,00
n2 - n1	n2	n1	834,00	0,00	112,80	0,00	10,00
n37 - n41	n37	n41	900,00	0,00	97,13	0,00	10,00
n41 - n8	n41	n8	880,00	0,00	125,90	0,00	10,00
n8 - n9	n8	n9	827,00	0,00	395,90	0,00	10,00
n9 - n12	n9	n12	830,00	0,00	43,06	0,00	10,00
n9 - n20	n9	n20	829,00	0,00	65,35	0,00	10,00
n20 - n38	n20	n38	829,00	0,00	21,95	0,00	10,00
n20 - n10	n20	n10	826,00	0,00	82,81	0,00	10,00
n10 - n11	n10	n11	830,00	0,00	45,32	0,00	10,00
n10 - n21	n10	n21	817,00	0,00	99,07	0,00	10,00
n8 - n15	n8	n15	881,00	0,00	166,00	0,00	10,00
n15 - 3	n15	3	881,00	0,00	20,00	0,00	10,00
n15 - n22	n15	n22	892,00	0,00	193,30	0,00	10,00
n22 - n26	n22	n26	891,50	0,00	17,03	0,00	10,00
n22 - 1	n22	1	893,00	0,00	16,24	0,00	10,00

CAUDALES DE CLEMENT

NUDO	N° de Hidrantes	Caudal acumulado l/seg	Caudal medio l/seg	Varianza de Q (l/seg)^2	Area Total Ha	Hidrante	Caudal Nominal l/seg	Area Ha
n37	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
n36	1	0,97	0,48	0,24	0,71			
						1	0,97	0,71
n13	1	1,36	0,68	0,46	1,00			
						1	1,36	1,00
n14	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
n16	2	1,36	0,68	0,23	1,00			
						1	0,68	0,50
						2	0,68	0,50
n6	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
n7	1	0,74	0,37	0,14	0,55			
						1	0,74	0,55
n19	1	1,36	0,68	0,46	1,00			
						1	1,36	1,00
n4	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
n5	1	0,07	0,03	0,00	0,05			
						1	0,07	0,05
n17	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
n31	1	0,06	0,03	0,00	0,05			
						1	0,06	0,05
n2	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
n3	1	0,39	0,19	0,04	0,28			
						1	0,39	0,28
n18	1	0,05	0,03	0,00	0,04			
						1	0,05	0,04
n1	2	1,36	0,68	0,23	1,00			
						1	0,68	0,50
						2	0,68	0,50
n41	1	1,16	0,58	0,34	0,85			
						1	1,16	0,85
n8	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
n9	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
n12	1	1,09	0,54	0,30	0,80			
						1	1,09	0,80
n20	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
n38	1	1,06	0,53	0,28	0,78			
						1	1,06	0,78
n10	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
n11	1	1,36	0,68	0,46	1,00			
						1	1,36	1,00
n21	1	1,36	0,68	0,46	1,00			
						1	1,36	1,00
n15	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
3	1	1,36	0,68	0,46	1,00			
						1	1,36	1,00

DIOPRAM - Diseño óptimo de redes ramificadas



NUDO	N° de Hidrantes	Caudal acumulado l/seg	Caudal medio l/seg	Varianza de Q (l/seg)^2	Area Total Ha	Hidrante	Caudal Nominal l/seg	Area Ha
n22	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
n26	1	1,09	0,54	0,30	0,80			
						1	1,09	0,80
1	1	0,14	0,07	0,00	0,10			
						1	0,14	0,10

RESULTADOS DE LAS LINEAS

Línea	Ql l/seg	D. Teor. mm	DN	D mm	Veloc. m/seg	j m/m	Coste Pta.	hf mca	hm mca	hp mca
n0 - n37	16,34	67,52	110	99,60	2,10	0,04	178,93	0,77	0,00	0,77
Material:	PVC (Pn 1.25 E/C)									
Nudo:	n37	Presión:	55,23 mca		P. Mín.:	10,00 mca				
		Altura:	979,23 mca		P. Est.:	56,00 mca				
n37 - n3	7,72	54,46	75	67,80	2,14	0,07	906,49	17,64	0,00	17,64
Material:	PVC (Pn 1.25 E/C)									
Nudo:	n36	Presión:	65,59 mca		P. Mín.:	10,00 mca				
		Altura:	961,59 mca		P. Est.:	84,00 mca				
n36 - n1	6,75	52,52	75	67,80	1,87	0,05	45,22	0,69	0,00	0,69
Material:	PVC (Pn 1.25 E/C)									
Nudo:	n13	Presión:	67,90 mca		P. Mín.:	10,00 mca				
		Altura:	960,90 mca		P. Est.:	87,00 mca				
n13 - n1	1,36	24,22	32	29,00	2,06	0,17	76,47	13,22	0,00	13,22
Material:	PVC (Pn 1.25 E/C)									
Nudo:	n14	Presión:	58,69 mca		P. Mín.:	10,00 mca				
		Altura:	947,69 mca		P. Est.:	91,00 mca				
n14 - n1	1,36	24,22	32	29,00	2,06	0,17	201,10	34,75	0,00	34,75
Material:	PVC (Pn 1.25 E/C)									
Nudo:	n16	Presión:	75,95 mca		P. Mín.:	10,00 mca				
		Altura:	912,95 mca		P. Est.:	143,00 mca				
n13 - n6	4,03	45,69	63	57,00	1,58	0,05	405,76	6,04	0,00	6,04
Material:	PVC (Pn 1.25 E/C)									
Nudo:	n6	Presión:	87,86 mca		P. Mín.:	10,00 mca				
		Altura:	954,86 mca		P. Est.:	113,00 mca				
n6 - n7	2,10	38,34	50	45,20	1,31	0,04	356,89	6,91	0,00	6,91
Material:	PVC (Pn 1.25 E/C)									
Nudo:	n7	Presión:	64,95 mca		P. Mín.:	10,00 mca				
		Altura:	947,95 mca		P. Est.:	97,00 mca				
n7 - n19	1,36	34,12	40	36,20	1,32	0,06	130,96	4,89	0,00	4,89
Material:	PVC (Pn 1.25 E/C)									
Nudo:	n19	Presión:	66,06 mca		P. Mín.:	10,00 mca				
		Altura:	943,06 mca		P. Est.:	103,00 mca				
n6 - n4	1,93	29,53	40	36,20	1,88	0,11	265,60	18,51	0,00	18,51
Material:	PVC (Pn 1.25 E/C)									
Nudo:	n4	Presión:	86,35 mca		P. Mín.:	10,00 mca				
		Altura:	936,35 mca		P. Est.:	130,00 mca				
n4 - n5	0,07	6,64	32	29,00	0,11	0,00	82,09	0,04	0,00	0,04
Material:	PVC (Pn 1.25 E/C)									
Nudo:	n5	Presión:	95,31 mca		P. Mín.:	10,00 mca				
		Altura:	936,31 mca		P. Est.:	139,00 mca				

DIOPRAM - Diseño óptimo de redes ramificadas



Línea	Ql l/seg	D. Teor. mm	DN	D mm	Veloc. m/seg	j m/m	Coste Pta.	hf mca	hm mca	hp mca
n4- n17	1,86	29,24	40	36,20	1,81	0,10	78,40	5,12	0,00	5,12
	Material: PVC (Pn 1.25 E/C)									
	Nudo: n17		Presión:	84,24 mca	P. Mín.:		10,00 mca			
			Altura:	931,24 mca	P. Est.:		133,00 mca			
n17 - n3	0,06	4,54	32	29,00	0,09	0,00	15,00	0,01	0,00	0,01
	Material: PVC (Pn 1.25 E/C)									
	Nudo: n31		Presión:	83,23 mca	P. Mín.:		10,00 mca			
			Altura:	931,23 mca	P. Est.:		132,00 mca			
n17 - n2	1,80	28,98	40	36,20	1,75	0,10	107,92	6,64	0,00	6,64
	Material: PVC (Pn 1.25 E/C)									
	Nudo: n2		Presión:	84,60 mca	P. Mín.:		10,00 mca			
			Altura:	924,60 mca	P. Est.:		140,00 mca			
n2 - n3	0,44	12,61	32	29,00	0,67	0,02	43,06	1,01	0,00	1,01
	Material: PVC (Pn 1.25 E/C)									
	Nudo: n3		Presión:	85,59 mca	P. Mín.:		10,00 mca			
			Altura:	923,59 mca	P. Est.:		142,00 mca			
n3 - n18	0,05	7,08	32	29,00	0,08	0,00	60,27	0,02	0,00	0,02
	Material: PVC (Pn 1.25 E/C)									
	Nudo: n18		Presión:	88,57 mca	P. Mín.:		10,00 mca			
			Altura:	923,57 mca	P. Est.:		145,00 mca			
n2 - n1	1,36	26,88	32	29,00	2,06	0,17	112,80	19,49	0,00	19,49
	Material: PVC (Pn 1.25 E/C)									
	Nudo: n1		Presión:	71,11 mca	P. Mín.:		10,00 mca			
			Altura:	905,11 mca	P. Est.:		146,00 mca			
n37 - n4	8,62	56,76	75	67,80	2,39	0,08	329,27	7,82	0,00	7,82
	Material: PVC (Pn 1.25 E/C)									
	Nudo: n41		Presión:	71,41 mca	P. Mín.:		10,00 mca			
			Altura:	971,41 mca	P. Est.:		80,00 mca			
n41 - n8	7,46	54,58	75	67,80	2,07	0,06	426,80	7,81	0,00	7,81
	Material: PVC (Pn 1.25 E/C)									
	Nudo: n8		Presión:	83,60 mca	P. Mín.:		10,00 mca			
			Altura:	963,60 mca	P. Est.:		100,00 mca			
n8 - n9	4,87	44,04	63	57,00	1,91	0,07	1.255,00	26,25	0,00	26,25
	Material: PVC (Pn 1.25 E/C)									
	Nudo: n9		Presión:	110,37 mca	P. Mín.:		10,00 mca			
			Altura:	937,37 mca	P. Est.:		153,00 mca			
n9 - n12	1,09	15,64	32	29,00	1,65	0,12	43,06	5,02	0,00	5,02
	Material: PVC (Pn 1.25 E/C)									
	Nudo: n12		Presión:	102,35 mca	P. Mín.:		10,00 mca			
			Altura:	932,35 mca	P. Est.:		150,00 mca			
n9 - n20	3,78	41,13	50	45,20	2,36	0,13	150,96	8,38	0,00	8,38
	Material: PVC (Pn 1.25 E/C)									
	Nudo: n20		Presión:	99,99 mca	P. Mín.:		10,00 mca			
			Altura:	928,99 mca	P. Est.:		151,00 mca			

DESGLOSE DE MATERIAL

PVC (Pn 1.25 E/C)

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior mm	Diámetro Interior mm	Rugosidad mm	Presión Trabajo mca	Número de tramos	Longitud a instalar m	Coste Total Pta.
32	32,00	29,00	0,00	203,96	13	808,14	808,14
40	40,00	36,20	0,00	203,96	6	602,92	964,67
50	50,00	45,20	0,00	203,96	4	468,66	1.082,60
63	63,00	57,00	0,00	203,96	2	523,90	1.660,76
75	75,00	67,80	0,00	203,96	4	503,77	1.707,78
110	110,00	99,60	0,00	203,96	1	19,24	178,93

Anexo 11

Utilizando la ecuación (4) se obtuvieron los siguientes costes en tuberías:

$$C_T = C1 \cdot D \cdot L$$

Tabla 35. Costes unitarios en tuberías PLASTIGAMA (E/C)

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
3.54	5.31	0.63
4.33	11.69	0.63
6.3	24.57	0.63
7.87	38.56	0.63
8.86	48.73	0.63
2.48	4.96	0.8
3.54	9.91	0.8
4.33	14.72	0.8
6.3	31.50	0.8
7.87	48.79	0.8
8.86	62.02	0.8
1.26	1.89	1.25
1.57	2.98	1.25
1.97	4.73	1.25
2.48	7.44	1.25
3.54	15.22	1.25
4.33	22.52	1.25
6.3	47.88	1.25
7.87	74.77	1.25

FUENTE. LA AUTORA

Tabla 36. Costes unitarios en tuberías RIVAL (U/Z)

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
2.48	3.72	0.63
2.95	5.61	0.63
3.54	7.79	0.63
4.33	11.69	0.63
6.3	24.57	0.63
7.87	38.56	0.63
9.84	60.02	0.63
12.4	95.48	0.63
13.98	121.63	0.63
15.75	154.35	0.63
19.69	242.19	0.63
24.8	384.40	0.63

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
2.48	4.96	0.8
2.95	6.79	0.8
3.54	9.91	0.8
4.33	14.72	0.8
6.3	31.50	0.8
7.87	48.79	0.8
9.84	76.75	0.8
12.4	121.52	0.8
13.98	153.78	0.8
15.75	195.30	0.8
19.69	305.20	0.8
24.8	483.60	0.8
1.97	3.74	1
2.48	5.95	1
2.95	8.56	1
4.33	18.19	1
6.3	39.06	1
7.87	60.60	1
9.84	94.46	1
12.4	150.04	1
13.98	191.53	1
15.75	242.55	1
19.69	378.05	1
24.8	600.16	1
1.97	4.73	1.25
2.48	7.44	1.25
3.54	15.22	1.25
4.33	22.52	1.25
6.3	47.88	1.25
7.87	74.77	1.25
9.84	117.10	1.25
12.4	187.24	1.25
13.98	236.26	1.25
15.75	299.25	1.25
19.69	468.62	1.25
24.8	744.00	1.25

FUENTE. LA AUTORA

Tabla 37. Costes unitarios en tuberías de FIBROCEMENTO

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	CLASE A
3.94	47.28	A5
5.91	70.92	A5
7.87	102.31	A5
9.84	152.52	A5
11.81	200.77	A5
13.78	254.93	A5
15.75	315.00	A5
17.72	372.12	A5
19.69	433.18	A5
23.62	566.88	A5
29.53	885.90	A5
35.43	1275.48	A5
3.94	51.22	A7
5.91	79.79	A7
7.87	121.99	A7
9.84	177.12	A7
13.78	303.16	A7
15.75	370.13	A7
17.72	434.14	A7
19.69	502.10	A7
29.53	1004.02	A7
3.94	57.13	A10
5.91	97.52	A10
7.87	149.53	A10
9.84	221.40	A10
11.81	307.06	A10
13.78	378.95	A10
15.75	456.75	A10
17.72	549.32	A10
29.53	1240.26	A10
35.43	1771.50	A10
3.94	72.89	A14
5.91	124.11	A14
7.87	204.62	A14
9.84	305.04	A14
11.81	413.35	A14
13.78	523.64	A14
15.75	645.75	A14
17.72	761.96	A14
19.69	886.05	A14
23.62	1157.38	A14

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	CLASE A
29.53	1786.57	A14
35.43	2550.96	A14

FUENTE. LA AUTORA

Tabla 38. Costes unitarios en tuberías de PRFV

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
3.94	0.00	0.6
5.91	0.00	0.6
7.87	0.00	0.6
9.84	0.00	0.6
11.81	72.04	0.6
13.78	97.84	0.6
15.75	127.58	0.6
17.72	161.25	0.6
19.69	196.90	0.6
23.62	271.63	0.6
27.56	366.55	0.6
31.5	475.65	0.6
35.43	602.31	0.6
39.37	736.22	0.6
47.24	1053.45	0.6
3.94	11.43	1
5.91	24.23	1
7.87	41.71	1
9.84	62.98	1
11.81	72.04	1
13.78	97.84	1
15.75	126.00	1
17.72	159.48	1
19.69	192.96	1
23.62	269.27	1
27.56	363.79	1
31.5	472.50	1
35.43	595.22	1
39.37	736.22	1
3.94	11.43	1.6
5.91	24.23	1.6
7.87	41.71	1.6
9.84	62.98	1.6
11.81	68.50	1.6
13.78	90.95	1.6

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
15.75	116.55	1.6
17.72	145.30	1.6
19.69	177.21	1.6
23.62	245.65	1.6
27.56	330.72	1.6
31.5	428.40	1.6
35.43	538.54	1.6
39.37	661.42	1.6
47.24	944.80	1.6
11.81	67.32	2
13.78	88.19	2
15.75	113.40	2
17.72	141.76	2
19.69	173.27	2
23.62	238.56	2
27.56	319.70	2
31.5	412.65	2
35.43	520.82	2
39.37	637.79	2
47.24	911.73	2
55.12	1234.69	2

FUENTE. LA AUTORA

Anexo 12

Utilizando las ecuaciones de coste (6) se obtuvieron los siguientes costes en tuberías:

$$Cc = (A_1 + A_2 \cdot D^a) \cdot L \quad 1 < a < 2$$

Tabla 39. Costes unitarios en tuberías PLASTIGAMA (E/C)

Diámetro (m)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
0.09	4.08	0.63
0.11	6.09	0.63
0.16	12.89	0.63
0.2	20.12	0.63
0.225	25.46	0.63
0.063	2.60	0.8
0.09	5.19	0.8
0.11	7.66	0.8
0.16	15.84	0.8
0.2	24.41	0.8
0.225	30.68	0.8

Diámetro (m)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
0.032	1.09	1.25
0.04	1.67	1.25
0.05	2.55	1.25
0.063	3.97	1.25
0.09	7.84	1.25
0.11	11.50	1.25
0.16	23.50	1.25
0.2	35.97	1.25

FUENTE. LA AUTORA

Tabla 40. Costes unitarios en tuberías RIVAL (U/Z)

Diámetro (m)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
0.063	1.92	0.63
0.075	2.71	0.63
0.09	3.90	0.63
0.11	5.80	0.63
0.125	7.47	0.63
0.14	9.36	0.63
0.16	12.19	0.63
0.2	18.98	0.63
0.225	23.98	0.63
0.25	29.55	0.63
0.315	46.73	0.63
0.355	59.24	0.63
0.4	75.06	0.63
0.5	116.84	0.63
0.63	184.79	0.63
0.05	1.52	0.8
0.063	2.41	0.8
0.075	3.41	0.8
0.09	4.91	0.8
0.11	7.32	0.8
0.125	9.44	0.8
0.14	11.84	0.8
0.16	15.45	0.8
0.2	24.10	0.8
0.225	30.48	0.8
0.25	37.61	0.8
0.315	59.62	0.8
0.355	75.66	0.8
0.4	95.99	0.8
0.5	149.77	0.8

Diámetro (m)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
0.05	1.84	1
0.063	2.93	1
0.075	4.16	1
0.11	8.98	1
0.125	11.62	1
0.14	14.60	1
0.16	19.10	1
0.2	29.93	1
0.225	37.94	1
0.25	46.90	1
0.315	74.69	1
0.355	95.01	1
0.4	120.81	1
0.5	189.31	1
0.63	301.45	1
0.05	2.26	1.25
0.063	3.60	1.25
0.075	5.10	1.25
0.09	7.35	1.25
0.11	10.98	1.25
0.125	14.19	1.25
0.14	17.80	1.25
0.16	23.26	1.25
0.2	36.37	1.25
0.225	46.05	1.25
0.25	56.87	1.25
0.315	90.34	1.25
0.355	114.78	1.25
0.4	145.77	1.25
0.5	227.91	1.25
0.09	7.30	2
0.125	17.56	2
0.14	23.77	2
0.225	84.43	2

FUENTE. LA AUTORA.

Tabla 41. Costes unitarios en tuberías de FIBROCEMENTO

Diámetro (m)	Costo (\$/m)	CLASE A
0.1	42.42	A5
0.15	81.29	A5
0.2	128.96	A5
0.25	184.46	A5
0.3	247.12	A5
0.35	316.43	A5
0.4	392.01	A5
0.45	473.53	A5
0.5	560.72	A5
0.6	751.19	A5
0.75	1074.47	A5
0.9	1439.47	A5
0.1	52.69	A7
0.15	102.47	A7
0.2	164.26	A7
0.25	236.86	A7
0.35	411.32	A7
0.4	512.04	A7
0.45	621.17	A7
0.7	1282.22	A7
0.75	1435.86	A7
0.1	55.27	A10
0.15	111.40	A10
0.2	183.18	A10
0.25	269.41	A10
0.3	369.22	A10
0.35	481.97	A10
0.4	607.11	A10
0.45	744.21	A10
0.75	1799.73	A10
0.9	2466.54	A10
0.1	71.51	A14
0.15	145.56	A14
0.2	241.00	A14
0.25	356.36	A14
0.3	490.54	A14
0.35	642.72	A14
0.4	812.21	A14
0.45	998.45	A14
0.5	1200.97	A14
0.6	1653.18	A14

Diámetro (m)	Costo (\$/m)	CLASE A
0.75	2444.46	A14
0.9	3364.90	A14

FUENTE. LA AUTORA

Tabla 42. Costes unitarios en tuberías de POLIETILENO

Diámetro (m)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
0.025	1.03	1
0.032	1.62	1
0.04	2.44	1
0.05	3.67	1
0.063	5.62	1
0.075	7.74	1
0.09	10.82	1
0.11	15.64	1
0.125	19.78	1
0.14	24.35	1
0.16	31.12	1
0.18	38.64	1
0.2	46.89	1
0.25	70.65	1
0.315	108.01	1
0.4	167.51	1
0.02	0.58	1.6
0.025	0.90	1.6
0.032	1.45	1.6
0.04	2.24	1.6
0.05	3.45	1.6
0.063	5.40	1.6
0.075	7.57	1.6
0.09	10.78	1.6
0.11	15.91	1.6
0.125	20.38	1.6
0.14	25.39	1.6
0.16	32.89	1.6
0.18	41.32	1.6
0.2	50.69	1.6
0.25	78.12	1.6
0.315	122.26	1.6

FUENTE. LA AUTORA

Tabla 43. Costes unitarios en tuberías de PRFV

Diámetro (m)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
0.1	27.74	0.6
0.15	45.13	0.6
0.2	63.74	0.6
0.25	83.32	0.6
0.3	103.71	0.6
0.35	124.79	0.6
0.4	146.48	0.6
0.45	168.73	0.6
0.5	191.48	0.6
0.6	238.32	0.6
0.7	286.77	0.6
0.8	336.62	0.6
0.9	387.74	0.6
1	440.02	0.6
1.1	493.36	0.6
0.1	27.52	1
0.15	45.25	1
0.2	64.40	1
0.25	84.68	1
0.3	105.90	1
0.35	127.94	1
0.4	150.71	1
0.45	174.13	1
0.5	198.15	1
0.6	247.81	1
0.7	299.39	1
0.8	352.68	1
0.9	407.49	1
1	463.71	1
1.1	521.22	1
0.1	27.55	1.6
0.15	46.22	1.6
0.2	66.74	1.6
0.25	88.73	1.6
0.3	111.98	1.6
0.35	136.33	1.6
0.4	161.67	1.6
0.45	187.90	1.6
0.5	214.95	1.6
0.6	271.27	1.6
0.7	330.27	1.6

Diámetro (m)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
0.8	391.64	1.6
0.9	455.18	1.6
1	520.71	1.6
1.1	588.08	1.6
0.3	253.54	2
0.35	298.12	2
0.4	343.02	2
0.45	388.21	2
0.5	433.65	2
0.6	525.22	2
0.7	617.56	2
0.8	710.58	2
0.9	804.19	2
1	898.33	2
1.1	992.95	2
1.2	1088.01	2
1.3	1183.47	2
1.4	1279.30	2

FUENTE. LA AUTORA

Anexo 13

Utilizando las ecuaciones de coste (7) se obtuvieron los siguientes costes en tuberías:

$$C_t = a \cdot (x)^b$$

Tabla 44. Costes unitarios en tuberías PLASTIGAMA (E/C)

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
3.54	5.32	0.63
4.33	7.65	0.63
6.3	15.02	0.63
7.87	22.41	0.63
8.86	27.74	0.63
2.48	2.80	0.8
3.54	5.32	0.8
4.33	7.65	0.8
6.3	15.02	0.8
7.87	22.41	0.8
8.86	27.74	0.8
1.26	0.83	1.25
1.57	1.23	1.25
1.97	1.85	1.25
2.48	2.80	1.25

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
3.54	5.32	1.25
4.33	7.65	1.25
6.3	15.02	1.25
7.87	22.41	1.25

FUENTE. LA AUTORA

Tabla 45. Costes unitarios en tuberías RIVAL (U/Z)

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
2.48	2.80	0.63
2.95	3.83	0.63
3.54	5.32	0.63
4.33	7.65	0.63
4.92	9.62	0.63
5.51	11.80	0.63
6.3	15.02	0.63
7.87	22.41	0.63
8.86	27.74	0.63
9.84	33.51	0.63
12.4	50.80	0.63
13.98	63.04	0.63
15.75	78.13	0.63
19.69	116.78	0.63
24.8	176.90	0.63
1.97	1.85	0.8
2.48	2.80	0.8
2.95	3.83	0.8
3.54	5.32	0.8
4.33	7.65	0.8
4.92	9.62	0.8
5.51	11.80	0.8
6.3	15.02	0.8
7.87	22.41	0.8
8.86	27.74	0.8
9.84	33.51	0.8
12.4	50.80	0.8
13.98	63.04	0.8
15.75	78.13	0.8
19.69	116.78	0.8
1.97	1.85	1
2.48	2.80	1
2.95	3.83	1

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
4.33	7.65	1
4.92	9.62	1
5.51	11.80	1
6.3	15.02	1
7.87	22.41	1
8.86	27.74	1
9.84	33.51	1
12.4	50.80	1
13.98	63.04	1
15.75	78.13	1
19.69	116.78	1
24.8	176.90	1
1.97	1.85	1.25
2.48	2.80	1.25
2.95	3.83	1.25
3.54	5.32	1.25
4.33	7.65	1.25
4.92	9.62	1.25
5.51	11.80	1.25
6.3	15.02	1.25
7.87	22.41	1.25
8.86	27.74	1.25
9.84	33.51	1.25
12.4	50.80	1.25
13.98	63.04	1.25
15.75	78.13	1.25
19.69	116.78	1.25
3.54	5.32	2
4.92	9.62	2
5.51	11.80	2
8.86	27.74	2

FUENTE. LA AUTORA

Tabla 46. Costes unitarios en tuberías de FIBROCEMENTO

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	CLASE A
3.94	38.70	A5
5.91	80.30	A5
7.87	134.47	A5
9.84	201.03	A5
11.81	279.21	A5
13.78	368.57	A5

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	CLASE A
15.75	468.79	A5
17.72	579.57	A5
19.69	700.67	A5
23.62	972.25	A5
29.53	1453.28	A5
35.43	2017.17	A5
3.94	38.70	A7
5.91	80.30	A7
7.87	134.47	A7
9.84	201.03	A7
13.78	368.57	A7
15.75	468.79	A7
17.72	579.57	A7
19.69	700.67	A7
29.53	1453.28	A7
3.94	38.70	A10
5.91	80.30	A10
7.87	134.47	A10
9.84	201.03	A10
11.81	279.21	A10
13.78	368.57	A10
15.75	468.79	A10
17.72	579.57	A10
29.53	1453.28	A10
35.43	2017.17	A10
3.94	38.70	A14
5.91	80.30	A14
7.87	134.47	A14
9.84	201.03	A14
11.81	279.21	A14
13.78	368.57	A14
15.75	468.79	A14
17.72	579.57	A14
19.69	700.67	A14
23.62	972.25	A14
29.53	1453.28	A14
35.43	2017.17	A14

FUENTE. LA AUTORA

Tabla 47. Costes unitarios en tuberías de POLIETILENO

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
0.98	0.53	1
1.26	0.83	1
1.57	1.23	1
1.97	1.85	1
2.48	2.80	1
2.95	3.83	1
3.54	5.32	1
4.33	7.65	1
4.92	9.62	1
5.51	11.80	1
6.3	15.02	1
7.09	18.57	1
7.87	22.41	1
9.84	33.51	1
12.4	50.80	1
15.75	78.13	1
0.79	0.36	1.6
0.98	0.53	1.6
1.26	0.83	1.6
1.57	1.23	1.6
1.97	1.85	1.6
2.48	2.80	1.6
2.95	3.83	1.6
3.54	5.32	1.6
4.33	7.65	1.6
4.92	9.62	1.6
5.51	11.80	1.6
6.3	15.02	1.6
7.09	18.57	1.6
7.87	22.41	1.6
9.84	33.51	1.6
12.4	50.80	1.6

FUENTE. LA AUTORA

Tabla 48. Costes unitarios en tuberías PRFV

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
3.94	6.45	0.6
5.91	13.38	0.6
7.87	22.41	0.6
9.84	33.51	0.6

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	Presión (MP)
11.81	46.53	0.6
13.78	61.43	0.6
15.75	78.13	0.6
17.72	96.60	0.6
19.69	116.78	0.6
23.62	162.04	0.6
27.56	213.91	0.6
31.5	272.07	0.6
35.43	336.19	0.6
39.37	406.46	0.6
43.31	482.59	0.6
47.24	564.26	0.6
3.94	6.45	1
5.91	13.38	1
7.87	22.41	1
9.84	33.51	1
11.81	46.53	1
13.78	61.43	1
15.75	78.13	1
17.72	96.60	1
19.69	116.78	1
23.62	162.04	1
27.56	213.91	1
31.5	272.07	1
35.43	336.19	1
39.37	406.46	1
43.31	482.59	1
47.24	564.26	1
3.94	6.45	1.6
5.91	13.38	1.6
7.87	22.41	1.6
9.84	33.51	1.6
11.81	46.53	1.6
13.78	61.43	1.6
15.75	78.13	1.6
17.72	96.60	1.6
19.69	116.78	1.6
23.62	162.04	1.6
27.56	213.91	1.6
31.5	272.07	1.6
35.43	336.19	1.6
39.37	406.46	1.6

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)	Presión (MPa)
43.31	482.59	1.6
47.24	564.26	1.6
11.81	46.53	2
13.78	61.43	2
15.75	78.13	2
17.72	96.60	2
19.69	116.78	2
23.62	162.04	2
27.56	213.91	2
31.5	272.07	2
35.43	336.19	2
39.37	406.46	2
43.31	482.59	2
47.24	564.26	2
51.18	651.78	2
55.12	744.87	2

FUENTE. LA AUTORA

Anexo 14

Utilizando las ecuaciones de coste (8) se obtuvieron los siguientes costes en tuberías:

$$C_{TT} = f(D \cdot e \cdot L)$$

PLASTIGAMA (E/C)

Tabla 49. Costes de suministro e instalación de tuberías

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)
2.48	0.84
3.54	1.38
4.33	2.21
6.3	3.47
7.87	5.35

FUENTE. LA AUTORA

Tabla 50. Costes de suministro e instalación de tuberías PRFV

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)
19.69	79.55
23.62	106.29
27.56	184.93
31.5	282.24
35.43	397.17

Diámetro (pulg.)	Costo (\$/m)
39.37	529.53
43.31	679.53
47.24	846.54
51.18	1032.30
55.12	1235.79
59.06	1456.42

FUENTE. LA AUTORA

Anexo 15

A continuación se presentan los costes reales y potencias de bombas

Tabla 51. Costes reales en bombas

Precio (\$)	Potencia (KW)
47839	5
50982	7
62927	11
71135	15
79112	19
81426	22
95071	30
99769	37

FUENTE. (Catálogo de bombas Ideal Ayala, 2013).

Utilizando la ecuación (9) se obtuvieron los siguientes costes en bombas:

$$C_c = (A_1 + A_2 \cdot W^a) \quad 0 < a < 1$$

Tabla 52. Costes unitarios de bombas

Potencia (KW)	Precio ajustado (\$)
5	46463
7	52935
11	63070
15	71127
19	77952
22	82510
30	93050
37	100929

FUENTE. LA AUTORA

Anexo 16

Utilizando la ecuación (12) se obtuvieron los siguientes costes de operación de bombas:

$$C_{AB} = P \cdot t \cdot C_e$$

Tabla 53. Costes de operación de bombas

Potencia (KW)	Costo de operación (\$/año)
15	432
19	365
20	576
18	259
23	331
5	5
43	1238
47	1354

FUENTE. LA AUTORA

Anexo 17

A continuación se muestran los costes reales en depósitos:

Tabla 54. Precios y volúmenes en depósitos

Volumen (m ³)	Precio (\$)
300	86995
500	144869
400	115970
100	29000
50	14500
200	58000
5800	836697
1000	280135
800	229312
1500	377254
200	58000
100	29000
200	58000
1000	280135
200	58000
100	29000
200	58000
300	86995

FUENTE. LA AUTORA

Utilizando la ecuación (13) se obtuvieron los siguientes costes de construcción en depósitos:

$$C = A \cdot V^a \quad 0 < a < 1$$

Tabla 55. Costes de construcción en depósitos

Volumen (m ³)	Precio (\$)	Precio real (\$)
50	16629	14500
100	31028	29000
200	57897	58000
300	83391	86995
400	108031	115970
500	132056	144869
800	201580	229312
1000	246409	280135
1500	354912	377254
5800	1198575	836697

FUENTE. LA AUTORA

Anexo 18

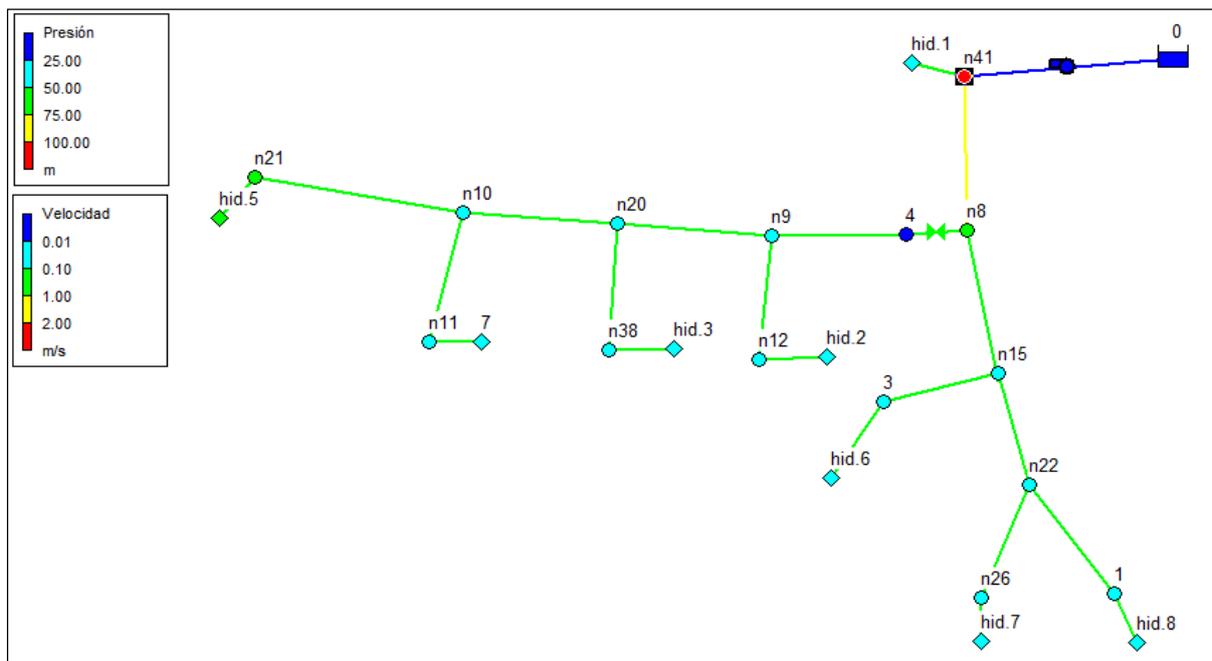


Ilustración 59. Simulación del ramal Sectorial I en Epanet.

FUENTE. LA AUTORA

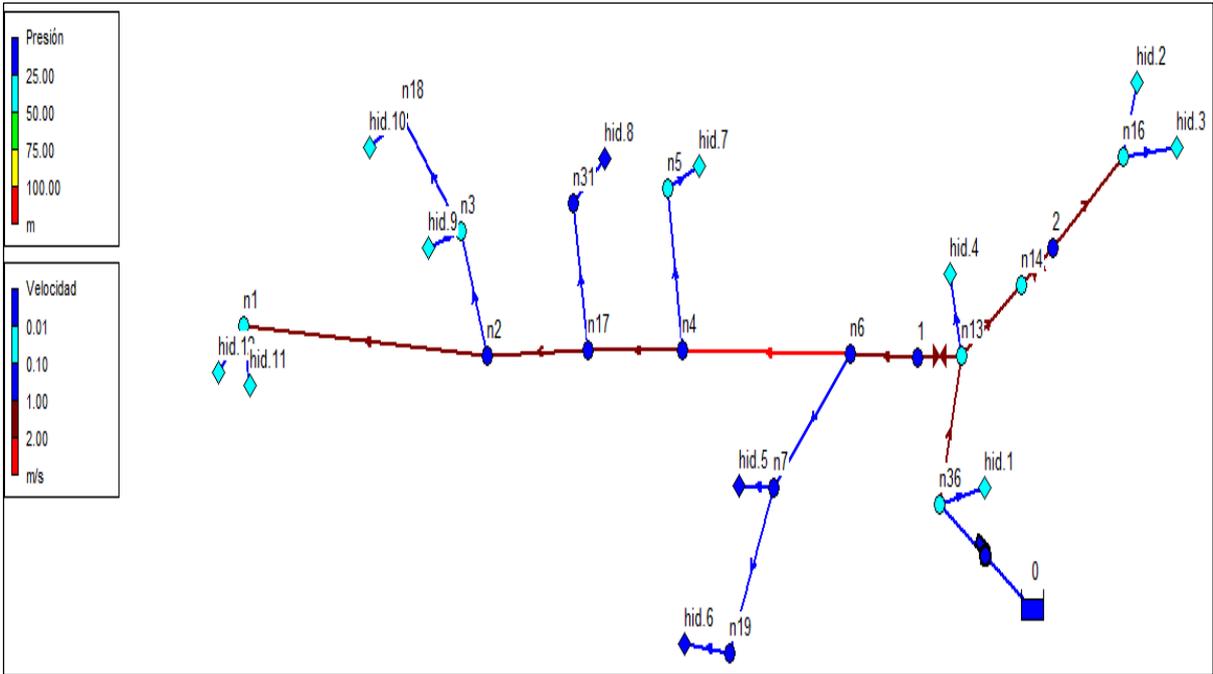


Ilustración 60. Simulación del ramal Sectorial II en Epanet.

FUENTE. LA AUTORA

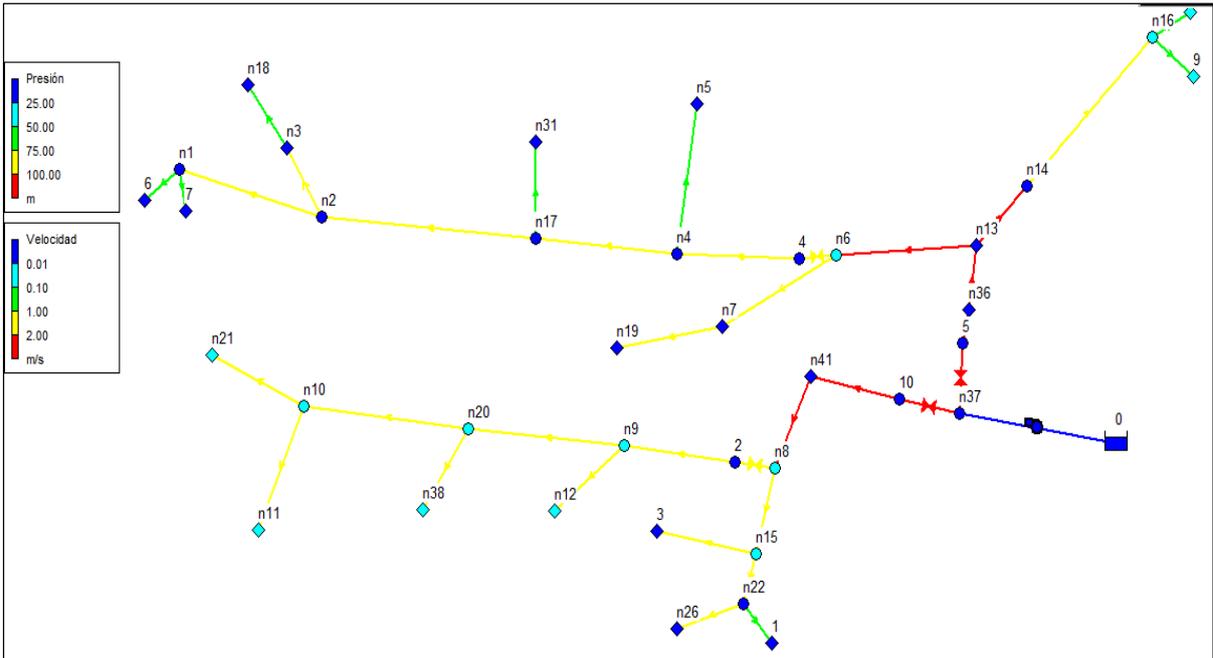


Ilustración 61. Simulación de la red completa en Epanet.

FUENTE. LA AUTORA

ARTÍCULO TÉCNICO

Funciones de coste asociadas a elementos de una red hidráulica presurizada

Jenny Alexandra Aguirre Granda¹, Carmen Mireya Lapo Pauta²

1 Profesional en formación, Universidad Técnica Particular de Loja.

2 Docente e Ingeniero Civil, Universidad Técnica Particular de Loja; Magister en Hidráulica y Medio Ambiente.

jaaguirre@utpl.edu.ec¹, cmlapo@utpl.edu.ec²

Resumen

En el presente artículo se presenta la investigación realizada con el objeto de determinar las funciones de costo de diversos elementos que integran una red de riego a presión, como son tuberías, bombas y depósitos, para lo cual se usó la información recopilada en el medio en donde se desarrolla este trabajo.

Palabras Clave: red hidráulica, criterio económico, función de costo.

Abstract

In this article the investigation in order to determine the cost functions of various elements of an irrigation network pressure occurs, such as pipes, pumps and tanks for which the information gathered in the medium used where this work is carried out.

Keywords: hydraulic network, economic criteria, cost function.

Introducción

Para estimar el diseño económico de una red hidráulica se hace necesario estimar el coste de los elementos que intervienen, o más exactamente de las funciones de coste relacionadas a dichos elementos, que relacionan la capacidad funcional de los mismos

en referencia a uno o varios parámetros de diseño.

Siguiendo la descripción de algunos autores, las funciones de coste están sometidas a tres tipos de influencia, funcional, sistemático y aleatorio. La influencia o dependencia funcional determina la estructura de la función que relaciona el coste del elemento con los parámetros que lo caracterizan. Las influencias sistemática y aleatoria intervienen en el valor de los coeficientes de la función aunque, en general no modifican la estructura de la misma. Por ejemplo, si se considera la función de coste de una tubería, el material de la misma o el tipo de moneda al que se refiere el coste son factores sistemáticos, mientras que las fluctuaciones del precio de mercado de la misma es un factor de tipo aleatorio. La validez de los resultados que se obtengan en la optimización dependerá de cuan realista resulte la estimación.

Mencionan (Pérez et al. 2005) que el diseño económico de redes parte de la premisa de que para reunir un conjunto de requisitos funcionales, es posible establecer múltiples soluciones técnicamente viables y correctas, y de todas las posibles soluciones, la "mejor" será aquella que represente un coste mínimo.

Materiales y métodos

Las herramientas informáticas utilizadas para la presente investigación fueron:

- Microsoft Excel
- Software de uso libre Cropwat, desarrollado por la FAO (Food and Agriculture Organization of the United).
- Software Diopram 3.0, desarrollado por el grupo multidisciplinar de Modelación de Fluidos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Software Epanet 2.0 versión libre, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

La secuencia utilizada para el desarrollo del trabajo es la siguiente:

1. Obtener información referente a parámetros importantes de los elementos de una red hidráulica como materiales, diámetros y costos reales en tuberías que se utilizan en nuestro entorno para sistemas de riego. Debido a la falta de información sobre depósitos y estaciones de bombeo en sistemas de riego, gracias a la ayuda de la UMAPAL (Unidad Municipal de agua potable y alcantarillado) se realizó la investigación con datos de estos elementos en sistemas de abastecimiento de agua potable existentes en el entorno local.

2. Investigar las funciones de coste en tuberías, bombas y depósitos, así como costes reales de los mismos.

Funciones de coste en tuberías.-

Según Pérez (2005) y Trapote (2013) la expresión está dada por:

$$C_c = (A_1 + A_2 \cdot D^a) \cdot L \quad 1 < a < 2 \quad (1)$$

Dónde:

Cc: coste de construcción (\$/m)

A₁, A₂ y a: constantes que dependen del material de la conducción (coeficientes de ajuste)

D: diámetro de la conducción (m)

L: longitud de la tubería (m)

Funciones de coste en bombas.-

Mencionan Pérez et al. (2005) y Trapote (2013), el coste de una estación de bombeo puede aproximarse a una expresión tipo.

$$C_c = (A_1 + A_2 \cdot W^a) \quad 0 < a < 1 \quad (2)$$

Dónde:

Cc: coste de construcción (\$)

W: potencia total instalada (Kw)

A₁, A₂ y a: coeficientes de ajuste

Funciones de coste en depósitos.-

Según Pérez et al. (2005) y Trapote (2013) la expresión está dada por:

$$C = A \cdot V^a \quad 0 < a < 1 \quad (3)$$

Dónde:

Cc: coste de construcción del depósito (\$)

A y a: coeficientes del ajuste

V: volumen del depósito (m³)

3. Simulación de varios escenarios en el caso de tuberías se realizó el análisis y simulación para los diferentes materiales, diámetros y presiones. En el caso de las bombas para las diferentes potencias y en los depósitos para los volúmenes de estos. Posteriormente se obtuvo el costo unitario y ajustado para cada uno.

Tuberías.- se obtienen las siguientes funciones de costo para tuberías.

En tuberías de polietileno se obtuvieron las ecuaciones de coste para presiones de trabajo de 1 MPa y 1.6 MPa y diámetros que van desde 0.02 m a 0.4 m.

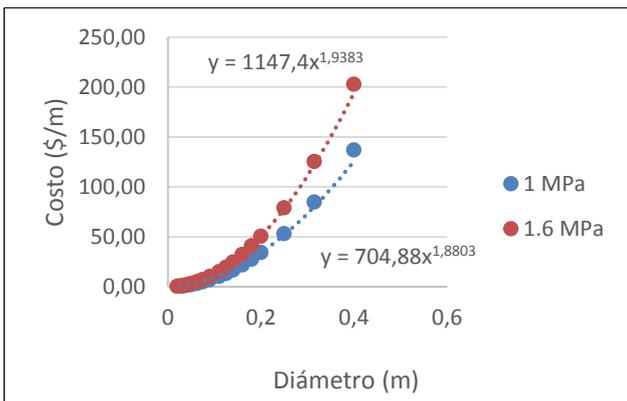


Ilustración 1. Curvas de costes para tuberías de Polietileno.

FUENTE. LA AUTORA

Para las tuberías de PRFV se utilizaron tuberías con presiones de trabajo de 0.6 MPa a 2 MPa, y diámetros que van desde 0.1 m a 1.5 m.

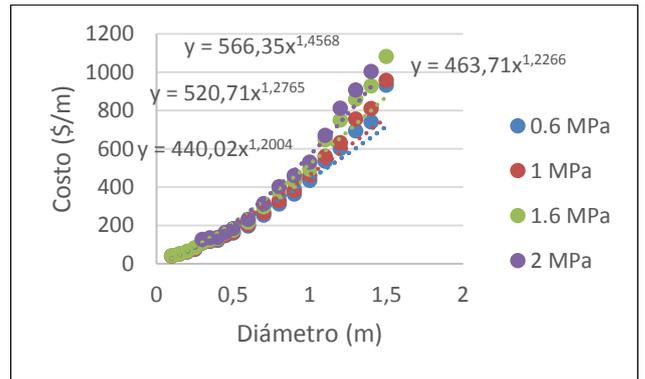


Ilustración 2. Curvas de costes para tuberías de PRFV.

FUENTE. LA AUTORA

En tuberías de plastigama (U/Z) se utilizaron tuberías con presiones de trabajo de 0.63 MPa a 2 MPa, con diámetros que van desde 0.05 m a 0.63 m.

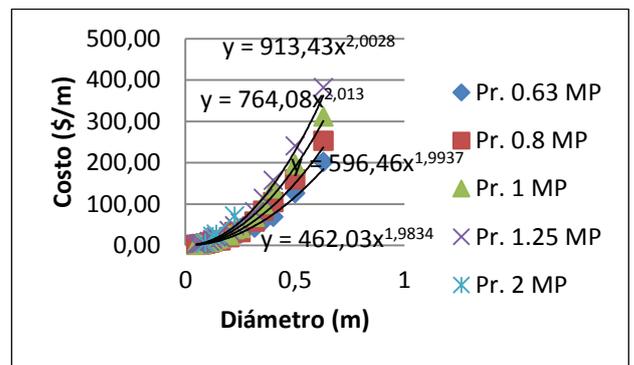


Ilustración 3. Curvas de costes para tuberías de PLASTIGAMA (U/Z).

FUENTE. LA AUTORA

Para tuberías de espiga campana se utilizaron tuberías con presiones de trabajo de 0.63 MPa a 2 MPa, con diámetros de 0.02 m a 0.225 m.

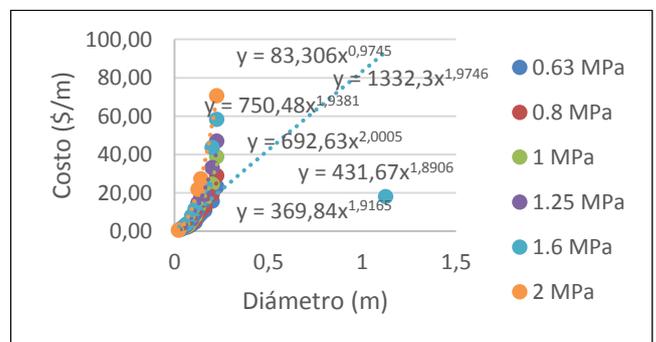


Ilustración 4. Funciones de coste para tuberías de Espiga Campana.

FUENTE. LA AUTORA

Bombas.- se obtuvo la siguiente función para bombas:

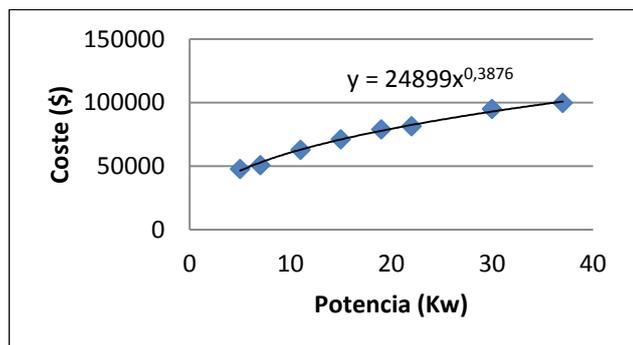


Ilustración 5. Curva de costes en bombas de diferente potencia.

FUENTE. LA AUTORA

Depósitos.- la función obtenida para depósitos es:

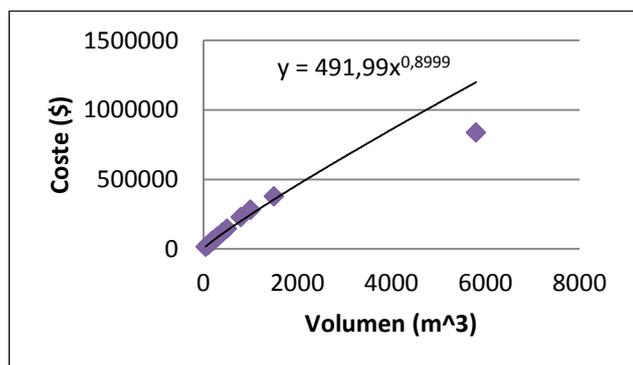


Ilustración 6. Curva de costes en depósitos.

FUENTE. LA AUTORA

Caso de estudio

La red a diseñar está ubicada en la provincia de Loja, Cantón Celica Parroquia Cruzpamba. El proyecto de riego para la asociación de Agricultores Agropecuarios “Juntos Venceremos” comprende la parte alta y baja de la zona del Barrio Patuco, que abarca un área total de 24.04 Has, de las cuales 12.04 Has serán regadas.

La red está compuesta por dos ramales denominados sectorial I y sectorial II. El ramal sectorial I, está diseñado por turnos con un total

de 8 hidrantes y un área total de riego de 6.33 Has. Ver ilustraciones (7 y 8).

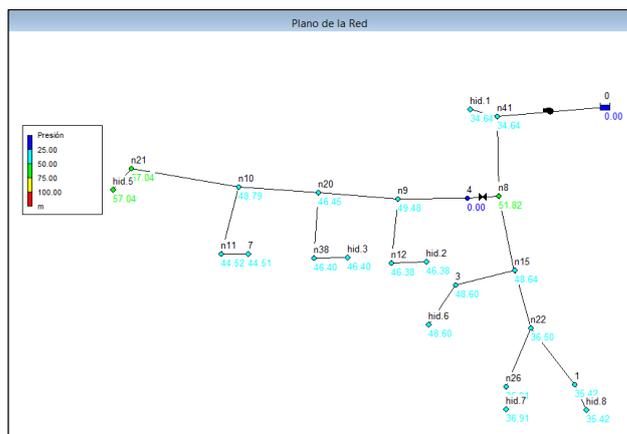


Ilustración 7. Presiones obtenidas en el ramal sectorial I de la red, utilizando bomba.

FUENTE. LA AUTORA

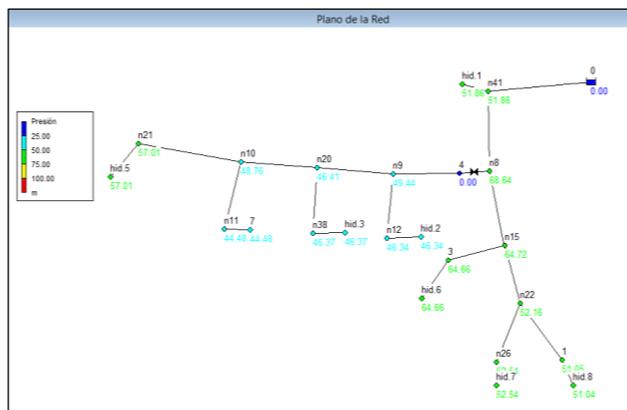


Ilustración 8. Presiones obtenidas en el ramal sectorial I de la red, utilizando depósito.

FUENTE. LA AUTORA

El ramal sectorial II está diseñado a la demanda con un total de 12 hidrantes y un área total de riego de 5.6739 Has. Ver ilustraciones (9 y 10).

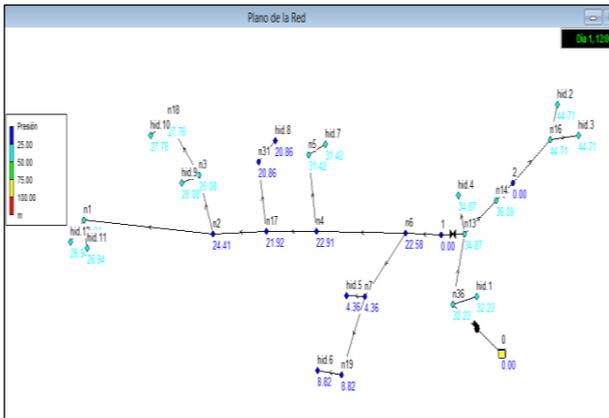


Ilustración 9. Presiones obtenidas en el ramal Sectorial II de la red, utilizando bomba.

FUENTE. LA AUTORA

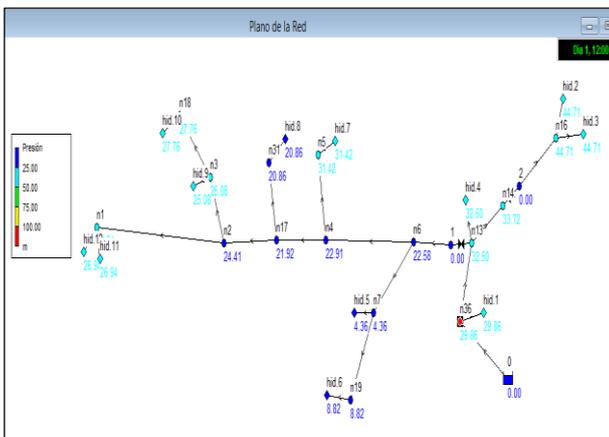


Ilustración 10. Presiones obtenidas en el ramal Sectorial II de la red, utilizando depósito.

FUENTE. LA AUTORA

Resultados y discusión

Luego de implementar en el diseño las funciones de costo obtenidas para los materiales en el sector de estudio se observa:

En el ramal diseñado por turnos la tabla (1).

Tabla 1. Costos en diferentes tipos de tuberías, modalidad de riego por turnos.

Material	Sin funciones de costo	Con funciones de costo
Tubería (E/C)	2555.34	2435.06
Tubería (U/Z)	2862.40	2424.27
Tubería de Polietileno	3664.82	3720.62
Tubería de PRFV	57062.58	13248.76
Tubería de Fibrocemento	71494.92	15629.84

FUENTE. LA AUTORA

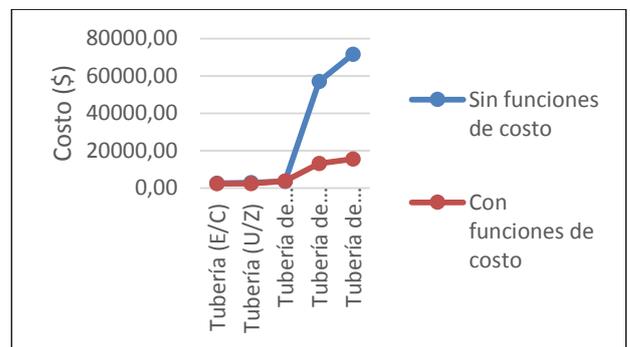


Ilustración 11. Costos en diferentes tipos de tuberías, modalidad de riego por turnos

FUENTE. LA AUTORA

Al observar los resultados de la tabla (1) e ilustración (11), los costos con tuberías de PRFV y Fibrocemento son más elevados por el método analítico y ajustados con el uso de las funciones de costo.

En el ramal diseñado a la demanda la tabla (2)

Tabla 2. Costos en diferentes tipos de tuberías, modalidad de riego a la demanda

Material	Sin funciones de costo	Con funciones de costo
Tubería (E/C)	3122.26	3489.17
Tubería (U/Z)	3822.16	3521.08
Tubería de Polietileno	5277.06	5331.47
Tubería de PRFV	62372.99	16813.08
Tubería de Fibrocemento	78148.44	20981.76

FUENTE. LA AUTORA

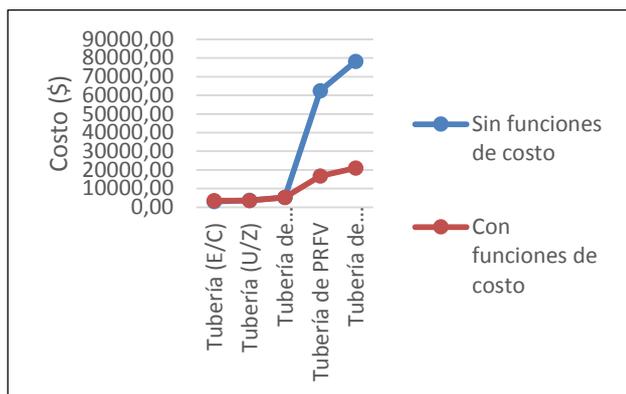


Ilustración 12. Comparación de costes en diseño a la demanda, método analítico y funciones de coste.
FUENTE. LA AUTORA

Al observar los resultados de la tabla (2) e ilustración (12), los costos con tuberías de PRFV y Fibrocemento son más elevados por el método analítico y ajustados con el uso de las funciones de costo.

Con la implementación de la bomba vemos los resultados en las tablas e ilustraciones:

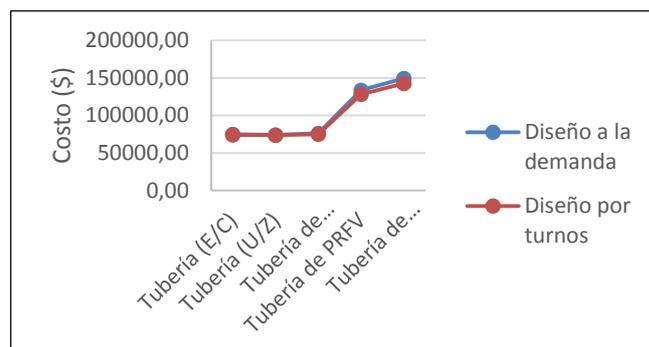
Método analítico

Tabla 3. Presupuesto referencial, en los ramales de la red utilizando bomba de 15 Kw, sin funciones de costo

Material	Diseño a la demanda	Diseño por turnos
Tubería (U/Z)	74957.16	73997.40
Tubería (E/C)	74257.26	73690.34
Tubería de polietileno	76412.06	74799.82
Tubería de PRFV	133507.99	128197.58
Tubería de Fibrocemento	149283.44	142629.92

FUENTE. LA AUTORA

Ilustración 13. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando bomba de 15 Kw, sin funciones de costo.



FUENTE. LA AUTORA

Método utilizando las funciones de coste

Tabla 4. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando bomba de 15 Kw con funciones de coste

Material	Diseño a la demanda	Diseño por turnos
Tubería (U/Z)	74949.16	73989.40
Tubería (E/C)	74249.26	73682.34
Tubería de polietileno	76404.06	74791.82
Tubería de PRFV	133500.00	128189.58
Tubería de Fibrocemento	149275.44	142621.92

FUENTE. LA AUTORA

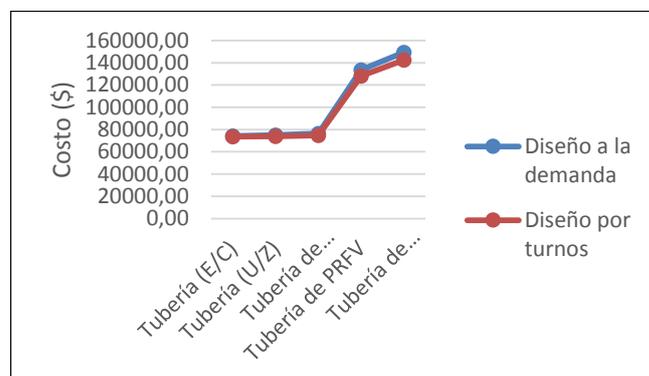


Ilustración 14. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando bomba de 15 Kw con funciones de coste.

FUENTE. LA AUTORA

De acuerdo a las tablas (3 y 4) y a las ilustraciones (13 y 14), se puede observar que el presupuesto al utilizar bombeo en los ramales de la red es mayor en la modalidad de riego a la demanda debido a que este utiliza diámetros de

tuberías grandes, sin embargo entre los dos métodos utilizados se puede observar que los costes en ambos son similares a diferencia de los materiales de tubería de PRFV y Fibrocemento que son elevados por el método analítico y más ajustados utilizando funciones de costo.

Con la implementación de un depósito superficial vemos los resultados en las tablas e ilustraciones:

Método analítico

Tabla 5. Presupuesto referencial, en los ramales de la red utilizando un depósito superficial, sin funciones de costo

Material	Diseño a la demanda	Diseño por turnos
Tubería (U/Z)	196117.16	66371.40
Tubería (E/C)	195417.26	66064.34
Tubería de polietileno	197572.06	67173.82
Tubería de PRFV	254668.00	120571.58
Tubería de Fibrocemento	270443.44	135003.92

FUENTE. LA AUTORA

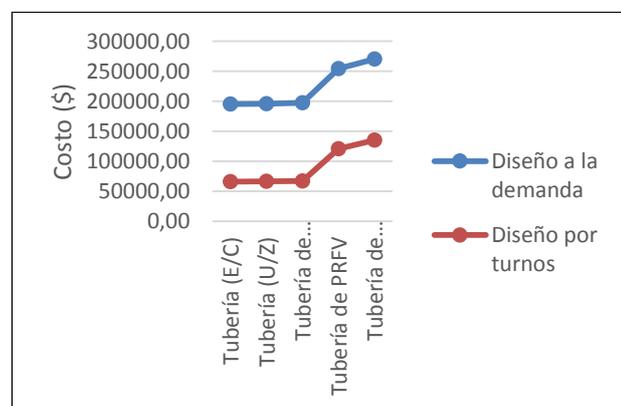


Ilustración 15. Presupuesto referencial incluido IVA, en los ramales de la red utilizando un depósito superficial, sin funciones de costo.

FUENTE. LA AUTORA

Método utilizando las funciones de costo

Tabla 6. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando un depósito superficial con funciones de costo

Material	Diseño a la demanda	Diseño por turnos
Tubería (U/Z)	174745.16	65685.40
Tubería (E/C)	174045.26	65378.34
Tubería de polietileno	176200.06	66487.82
Tubería de PRFV	233296.00	119885.58
Tubería de Fibrocemento	249066.44	134317.92

FUENTE. LA AUTORA

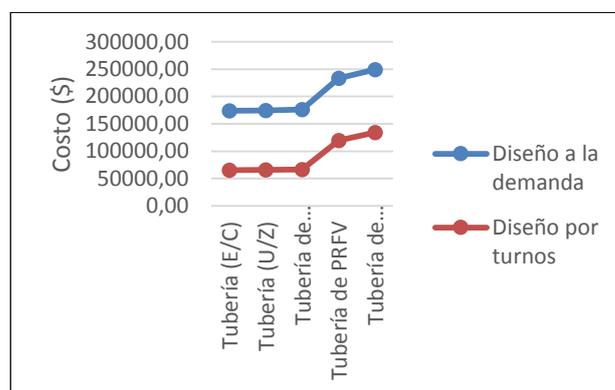


Ilustración 16. Presupuesto referencial en los ramales de la red utilizando depósito superficial con funciones de coste.

FUENTE. LA AUTORA

Al observar las tablas (5 y 6) y las ilustraciones (15 y 16), los costos son mínimos en el ramal diseñado por turnos debido a que el volumen del depósito es menor al utilizado en la modalidad de riego a la demanda, en cuanto a los costes se puede observar que los valores más ajustados son por el método de las funciones de costo.

Finalmente se realizó el cálculo hidráulico del factor energético en las dos modalidades de riego para una altura de bombeo de 10 m.

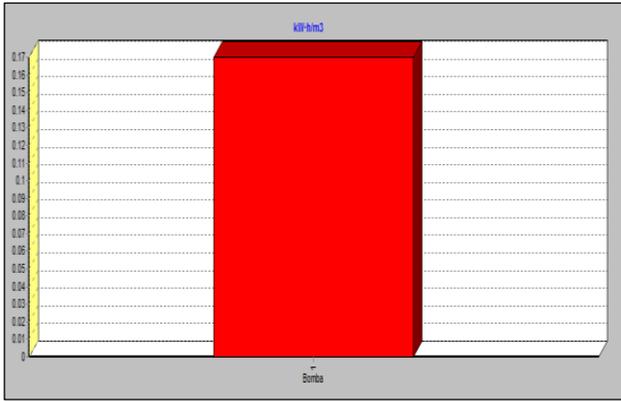


Ilustración 17. Consumo energético en la modalidad de riego por turnos para una altura de bombeo de 10 m.

FUENTE. LA AUTORA

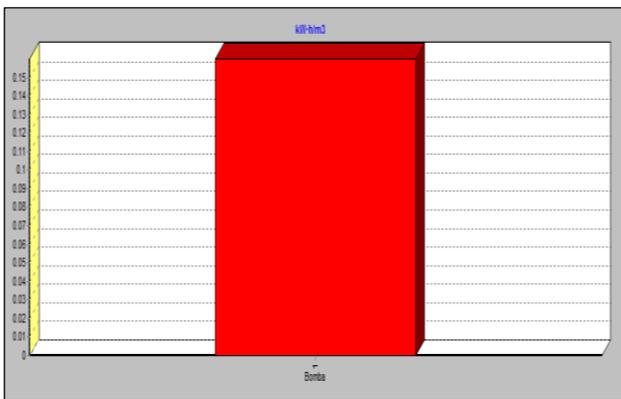


Ilustración 18. Consumo energético en la modalidad de riego a la demanda, para una altura de bombeo de 10 m.

FUENTE. LA AUTORA

De acuerdo a las ilustraciones (17 y 18) se puede observar que para una altura de bombeo de 10 metros la bomba mostró un consumo de 0.17 Kw-h/m³, en la modalidad de riego por turnos, mientras que en la modalidad de riego a la demanda presentó un consumo de 0.16 Kw-h/m³.

Los costes totales de consumo energético en la modalidad de riego por turnos para una altura de bombeo de 10 metros fueron de \$ 1.35 dólares por día, mientras que en la modalidad de riego a la de manda se obtuvo un coste energético de \$ 4.27 dólares por día.

Conclusiones

- Se comprobó que los resultados obtenidos utilizando las ecuaciones de coste permiten obtener valores unitarios ajustados, debido a que las mismas dependen del coste real de los elementos de una red hidráulica en este caso (tuberías, bombas y depósitos).
- Se verificó que en la modalidad de riego a la demanda el costo es mayor en relación al diseño de riego por turnos, esto se debe a que en el diseño a la demanda se utilizan grandes diámetros de tuberías lo que tiende a elevar el presupuesto.
- Se evidenció que el presupuesto en un diseño al utilizar depósito depende del volumen del mismo, ya que a mayor volumen el costo aumenta.
- Según la modelación de las redes tanto por turnos, como a la demanda, en los escenarios en periodo extendido, se observó que el balance de caudales es estable para las 24 horas de simulación, ya que el caudal producido satisface la demanda del caudal consumido en los dos sistemas de riego.
- La simulación de los ramales de la red mediante el uso de una bomba de 15 Kw en los escenarios diseñados a la demanda y por turnos, obtuvo un factor energético y se observó que el diseño por turnos es más económico con un ahorro por día de \$ 2.92 dólares por día equivalente al 68.38 % para el escenario de 10 metros de altura de bombeo. Mientras que en la red completa

diseñada a la demanda el coste de factor energético es de \$ 5.31 dólares por día.

Referencias Bibliográficas

ECODES. (2011 – 2026). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la Parroquia Cruzpamba. Celica – Loja – Ecuador.*

Agua C. (1997). *Conducción.*

Allasia D. (2000). *Estimación del diámetro económico de la tubería de un sistema de bombeo. Brasil.*

Arviza J, Balbastre I, Gonzáles P. (2002). *Ingeniería rural hidráulica. Reproval S.L.*

Briti S, Ajeet K, Pallave S, Preetam B. (2013). *Computation of least cost pipe network – an alternate method.*

Cisneros R. (2003). *Apuntes de la materia de riego y drenaje. Pág. 26. México.*

Gaete L. (2001). *Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado. Ed. Universidad de Talca.*

García J, Iglesias P. (2003). *Introducción a las redes de abastecimiento, ecuaciones fundamentales. Pág. (1-5).*

García J, Iglesias P. (s.f). *Abastecimiento de aguas. Cartagena.*

García S. (2013). *Desarrollo e implementación de estrategias y herramientas en GESTAR para el dimensionado de redes de riego presurizadas con funcionamiento a turnos. Zaragoza.*

Gonzales F. (2010). *Ubicación óptima de hidrantes multiuso en redes de riego a presión mediante el empleo del modelo de localización – asignación. (Tesis de Máster). Universidad Politécnica de Valencia. España.*

Heaney J, Sample D. (s.f). *Cost Analysis and Financing of urban wáter infraestructura.*

Iglesias P. (2003). *Ingeniería hidráulica en los abastecimientos de agua. Valencia.*

Infotecnia. (27 de marzo del 2012). *El Riego.com.*
[http://info.elriego.com/category/riego-agricola/fundamentos-de-riego/.](http://info.elriego.com/category/riego-agricola/fundamentos-de-riego/)

Jimenez A, García R. (2003). *Ingeniería hidráulica en los abastecimientos de agua. Valencia.*

Lamaddalena N, Sagardoy J. (1993). *Performance analysis of on demand pressurized irrigation systems.*

Lapo M. (2012). *Diseño óptimo de sistemas de riego a presión y su eficiencia hidro – energética, aplicación en el caso de Loja – Ecuador. Valencia – España.*

Losada C. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Segunda edición Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería.*

Losada A. (1988). *Fundamentos hidráulicos. España: Mundi – Prensa.*

Marino M. (2010). *Mejora del riego para la reutilización de aguas residuales en las zona de Torrents de Valls (Tarragona).*

Méndez M. (2010). *Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua. Publicaciones UCAB. Venezuela.*

Merkley A. (s.f). *Economic pipe selection method, sprinkle, tricke irrigation lectures.*

Montserrat J, Aldúan L, Barragan J. (2012). *¿Turnos o demanda? En el proyecto de redes de distribución de riego a presión. España.*

Mora L. (2007). *Costo unitario de tuberías. CIDIAT.*

- Nárvaez P, Galeano H. (s.f). *Ecuación de costos y función objetivo para la optimización del diseño de redes de flujo de líquidos a presión.*
- Pérez de la Cruz F. (2011). *Abastecimiento de aguas. Depósitos conceptos generales. Cartagena.*
- Pérez R. (1993). *Dimensionado óptimo de redes de distribución de agua ramificadas considerando los elementos de regulación. Cáp. 3 y 4. Valencia.*
- Pérez R. (2011). *Diseño de sistemas colectivos de riego a presión. España.*
- Pérez R, Iglesias P, Fuertes V. (2005). *Flujo estacionario de fluidos incompresibles en tuberías. Valencia. UPV.*
- Quevedo H. (1989). *Optimización del funcionamiento de las Unidades de bombeo y reserva del sistema de agua potable de la Ciudad de Loja. UTPL.*
- Saldarriaga J. (1998). *Hidráulica de tuberías. Colombia. McGRAW – HILL INTERAMERICANA S.A.*
- Santos L, Valero J, Picornell M, Trajuelo J. (2010). *El riego y sus tecnologías. España CREA – UCLM.*
- Srbislav B, Branislav M, Vojislav B. (2011). *Economic optimization of pipe diameter for complete turbulence. Serbia Elsevier B.V.*
- Swamee P, Sharma A. (2008). *Desing of wáter supply pipe networks. Canadá. A John Wiley y Sons Inc Publication.*
- Tarjuelo J. (2005). *El riego por aspersión. España. Centro regional de Estudios del Agua CREA.*
- Tarjuelo J. (2005). *El riego y su tecnología. Tercera Edición. España Mundi - Prensa.*
- Tarjuelo J, Moreno M, Planells P, Ortega J. (2006). *Presión y caudal necesarios en cabeceras de redes de riego a la demanda según la calidad de servicio deseada. España: Universidad de Castilla – La Mancha.*
- Trapote A. (2013). *Infraestructuras hiudráulicas sanitarias. Kadmos.*
- V N. (2013). *Energy optimization of branched water networks implementation to a water infrastructure located in Cuenca (Spain) Madrid.*

