

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

“OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE
AGUA POTABLE, USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS CON
TRES FUNCIONES OBJETIVO. CASO: VIÑANI - TACNA”

TESIS

Presentada por:

Bach. Angely Paola Valle Castro

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

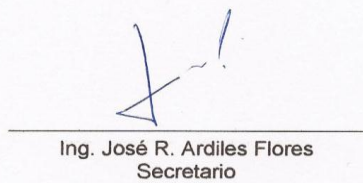
TACNA - PERÚ

2014

TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 22 DE DICIEMBRE DEL 2014, JURADO CALIFICADOR INTEGRADO POR:



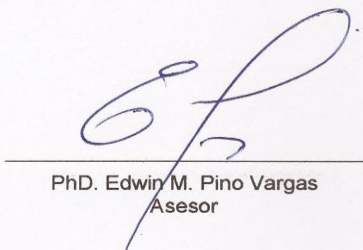
Ing. Luis Alfaro Ravello
Presidente



Ing. José R. Ardiles Flores
Secretario



Ing. Samuel Amar Antezana
Vocal



PhD. Edwin M. Pino Vargas
Asesor

DEDICATORIA

A Dios, quien es mi guía y me da fortaleza para seguir adelante, coraje, discernimiento, salud y todos los dones que me ha concedido.

A mis padres, hermanos, y todos quienes han hecho de mí una gran persona.

AGRADECIMIENTO

A los docentes que han sido parte de mi formación profesional, a mis padres, amigos y familiares, por su apoyo, esfuerzo y comprensión, quienes siempre han estado al lado mío en cada nueva experiencia a lo largo de mi vida y me han ayudado a cumplir mis objetivos.

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS
LISTA DE FIGURAS
RESUMEN
INTRODUCCIÓN

	Pag.
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	1
1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. HIPÓTESIS.....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.5. OBJETIVOS.....	3
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.6. VARIABLES.....	4
1.6.1. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	4
1.6.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	4
1.6.3. MEDICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES.....	5
1.7. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	6
1.8. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. ANTECEDENTES DE LA GENÉTICA.....	8
2.2. COMPUTACIÓN EVOLUTIVA Y ALGORITMOS GENÉTICOS.....	10
2.3. DISEÑO ÓPTIMO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.....	10
2.4. MÉTODO DEL GRADIENTE.....	12
2.4.1. DESCRIPCIÓN MATEMÁTICA.....	12

2.4.2.	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DEL MÉTODO.....	17
2.5.	ALGORITMOS GENÉTICOS.....	18
2.5.1.	REPRESENTACIÓN.....	20
2.5.2.	POBLACIÓN INICIAL.....	20
2.5.3.	FUNCIONES DE APTITUD.....	21
2.5.4.	OPERADORES GENÉTICOS.....	21
2.5.5.	PARÁMETROS.....	26
2.5.6.	TIPOS DE ALGORITMOS GENÉTICOS.....	27
2.6.	OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO.....	31
2.6.1.	CONCEPTOS BÁSICOS.....	32
2.6.2.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	33
2.6.3.	ÓPTIMO DE PARETO.....	34
2.6.4.	DIFICULTADES EN LA OPTIMIZACIÓN CON OBJETIVOS MÚLTIPLES.....	37
2.6.5.	TÉCNICAS PARA LA OPTIMIZACIÓN CON OBJETIVOS MÚLTIPLES.....	38
2.7.	MICRO ALGORITMO GENÉTICO.....	40
2.7.1.	ESTRUCTURA DEL ALGORITMO.....	40
2.7.2.	FUNCIONAMIENTO DE LAS FASES DEL MAGMO.....	42
2.8.	FUNCIONES OBJETIVO.....	45
2.8.1.	FUNCIÓN OBJETIVO DE COSTO.....	46
2.8.2.	FUNCIÓN OBJETIVO DE CONFIABILIDAD RESILIENTE DE LA RED.....	47
2.8.3.	FUNCIÓN OBJETIVO DE CONFIABILIDAD CINEMÁTICA.....	51
 CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....		 52
3.1.	ELABORACIÓN DEL SOFTWARE DE APOYO PARA EL DISEÑO ÓPTIMO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.....	52
3.1.1.	MÉTODO DEL GRADIENTE.....	54
3.1.2.	FUNCIONES OBJETIVO.....	59
3.1.3.	MICRO ALGORITMO GENÉTICO MULTIOBJETIVO (MAGMO).....	65
3.2.	UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR DE ESTUDIO.....	70
3.3.	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO.....	75
3.3.1.	CÁLCULO DE LA POBLACIÓN DE DISEÑO.....	75

3.3.2.	CÁLCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO	78
3.3.3.	MODELADO DE LA RED DE AGUA POTABLE.....	79

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 80

4.1.	CÁLCULO DE LA RED ACTUAL EMPLEANDO EL SOFTWARE ELABORADO (MAGMOREDES).....	80
4.1.1.	DIBUJO DE LA RED	81
4.1.2.	COMPLETADO DE DATOS	81
4.1.3.	CÁLCULO DE LA RED.....	84
4.1.4.	RESULTADOS.....	85
4.2.	DISEÑO OPTIMIZADO DE LA RED EMPLEANDO EL SOFTWARE ELABORADO (MAGMOREDES).....	89
4.2.1.	DIBUJO DE LA RED Y COMPLETADO DE DATOS.....	89
4.2.2.	CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL DISEÑO DE REDES POR MAGMO	90
4.2.3.	RESULTADOS DEL DISEÑO DE REDES POR MAGMO	93
4.3.	DISEÑO DE LA RDA PARA DOS OBJETIVOS EMPLEANDO EL SOFTWARE ELABORADO (MAGMOREDES).....	103
4.3.1.	DIBUJO DE LA RED Y COMPLETADO DE DATOS.....	103
4.3.2.	CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL DISEÑO DE REDES POR MAGMO	104
4.3.3.	RESULTADOS DEL DISEÑO DE REDES POR MAGMO	106
4.4.	CÁLCULO DE LA RED NUEVA PROYECTADA	116
4.4.1.	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO	116
4.4.2.	CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL DISEÑO DE REDES POR MAGMO	119
4.4.3.	RESULTADOS DEL DISEÑO DE REDES POR MAGMO	119
4.5.	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR AMBAS MODALIDADES DE DISEÑO	127
4.5.1.	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA RED ACTUAL CON LA RED DISEÑADA CONSIDERANDO TRES FUNCIONES OBJETIVO	127
4.5.2.	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA RED ACTUAL CON LA RED DISEÑADA CONSIDERANDO DOS FUNCIONES OBJETIVO	128

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	129
5.1. CONCLUSIONES.....	129
5.2. RECOMENDACIONES.....	131
BIBLIOGRAFÍA.....	133
ANEXOS.....	136

LISTA DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1: Técnicas tradicionales empleadas en la Optimización con Objetivos Múltiples	39
Cuadro 2: Técnicas evolutivas empleadas en la Optimización Multiobjetivo	40
Cuadro 3: Propiedades de los nodos	54
Cuadro 4: Propiedades de las tuberías	55
Cuadro 5: Propiedades de las Reservorios	56
Cuadro 6: Propiedades de las Válvulas	57
Cuadro 7: Datos requeridos para el modelamiento	57
Cuadro 8: Datos para el cálculo del coeficiente de confiabilidad de la Red	61
Cuadro 9: Límites de velocidad consideradas en la función Confiabilidad Cinemática	63
Cuadro 10: Valoración de la velocidad para la función de Confiabilidad Cinemática	64
Cuadro 11: Datos iniciales para el desarrollo del MAGMO	65
Cuadro 12: Superficie Asignada por Promuvi y documento de asignación	73
Cuadro 13: Nivel de ocupabilidad proyectada de lotes por Etapa	75
Cuadro 14: Proyección de la Población en el Sector Viñani	77
Cuadro 15: Proyección de la población en el sector Viñani	117

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1: Operador de cruza basado en un solo punto	24
Figura 2: Operador de cruza basado en dos puntos	24
Figura 3: Operador Genético de Mutación Sencilla	26
Figura 4: Modelo de Islas - Comunicación en Estrella	29
Figura 5: Modelo de Islas - Comunicación en red	30
Figura 6: Modelo de Islas - Comunicación en Anillo	30
Figura 7: Frente de Pareto.	35
Figura 8: Relaciones de Pareto – Dominancia.	37
Figura 9: Estructura del MAGMO.	41
Figura 10: Función objetivo de costo para tubería en función del diámetro comercial	47
Figura 11: Esquema de Macrolocalización de Viñani	71
Figura 12: Esquema de Micro localización de Viñani	72
Figura 13: Proyección de la población y viviendas en la zona de Influencia del Proyecto.	78
Figura 14: Pantalla de Inicio del software elaborado – MAGMOREDES V 1.0	80
Figura 15: Área y elementos de dibujo	81
Figura 16: Tabla de datos - Nodos	82
Figura 17: Tabla de datos – Tuberías	82
Figura 18: Tabla de datos – Reservorios	83
Figura 19: Tabla de datos del área de dibujo - Nodos	83
Figura 20: Tabla de datos del área de dibujo – Tuberías	84
Figura 21: Configuración para el cálculo de redes – Parámetros del método de la gradiente	84
Figura 22: Configuración para el cálculo de redes – Parámetros de las funciones objetivo	85
Figura 23: Resultados del cálculo de redes - Objetivos	85
Figura 24: Resultados del cálculo de redes – Tabla de nodos	86
Figura 25: Resultados del cálculo de redes – Tabla de Tuberías	87
Figura 26: Tabla de datos del área de dibujo – Resultado de nodos	87
Figura 27: Tabla de datos del área de dibujo – Resultado de tuberías	88
Figura 28: Área de dibujo y Ventana de diseño de redes por MAGMO	90
Figura 29: Diseño de redes por MAGMO – Parámetros del MAGMO	91
Figura 30: Diseño de redes por MAGMO – Parámetros de funciones objetivos y restricciones.	92

Figura 31: Diseño de redes por MAGMO – Universo de genes	93
Figura 32: Resultados – Tabla y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante	94
Figura 33: Resultados – Tabla de tuberías y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante	95
Figura 34: Resultados – Tabla de nodos y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante	95
Figura 35: Resultados – Tabla historial de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa	96
Figura 36: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 1000 del historial de la malla adaptativa	96
Figura 37: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 2000 del historial de la malla adaptativa	97
Figura 38: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 3000 del historial de la malla adaptativa	97
Figura 39: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 4000 del historial de la malla adaptativa	98
Figura 40: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 5000 del historial de la malla adaptativa	98
Figura 41: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 6000 del historial de la malla adaptativa	99
Figura 42: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 7000 del historial de la malla adaptativa	99
Figura 43: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 8000 del historial de la malla adaptativa	100
Figura 44: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 9000 del historial de la malla adaptativa	100
Figura 45: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 10 000 del historial de la malla adaptativa	101
Figura 46: Diseño de redes por MAGMO – Parámetros del MAGMO	104
Figura 47: Diseño de redes por MAGMO – Parámetros de funciones objetivos y restricciones	105
Figura 48: Diseño de redes por MAGMO – Universo de genes	106
Figura 49: Resultados – Tabla y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante	107
Figura 50: Resultados – Tabla de tuberías y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante	108

Figura 51: Resultados – Tabla de nodos y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante	108
Figura 52: Resultados – Tabla historial de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa	109
Figura 53: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 1000 del historial de la malla adaptativa	109
Figura 54: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 2000 del historial de la malla adaptativa	110
Figura 55: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 3000 del historial de la malla adaptativa	110
Figura 56: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 4000 del historial de la malla adaptativa	111
Figura 57: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 5000 del historial de la malla adaptativa	111
Figura 58: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 6000 del historial de la malla adaptativa	112
Figura 59: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 7000 del historial de la malla adaptativa	112
Figura 60: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 8000 del historial de la malla adaptativa	113
Figura 61: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 9000 del historial de la malla adaptativa	113
Figura 62: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 10 000 del historial de la malla adaptativa	114
Figura 63: Proyección de la Población y viviendas en la Zona de Influencia del Proyecto.	118
Figura 64: Resultados – Tabla y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante	120
Figura 65: Resultados – Tabla de tuberías y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante	120
Figura 66: Resultados – Tabla de nodos y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante	121
Figura 67: Resultados – Tabla historial de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa	122
Figura 68: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 1000 del historial de la malla adaptativa	122
Figura 69: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 3000 del historial de la malla adaptativa	123

Figura 70: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 5000 del historial de la malla adaptativa	123
Figura 71: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 7000 del historial de la malla adaptativa	124
Figura 72: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 9000 del historial de la malla adaptativa	124
Figura 73: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 10 000 del historial de la malla adaptativa	125

RESUMEN

El presente trabajo muestra el procedimiento de diseño óptimo de redes de distribución de agua (RDA) usando el método del Micro Algoritmo Genético con tres funciones objetivo, buscando la máxima confiabilidad resiliente, el mínimo costo y la máxima confiabilidad cinemática; elaborando el software MAGMOREDES vs 1.0 bajo la plataforma del lenguaje de programación orientado a objetos JAVA. Asimismo, para el desarrollo del software se consideró las restricciones impuestas según normativa en cuanto a presiones mínimas en las tuberías.

El lugar de estudio en donde se aplicó este método corresponde al distrito de Gregorio Albarracín, zona de Pampas de Viñani, de donde se han extraído datos correspondientes a elementos topológicos, características demográficas, e hidráulicas.

Se ha planteado una metodología al proceso de obtención de la red óptima, siguiendo la secuencia de los principios de selección natural, generando una población inicial aleatoria de redes posibles colocadas en una MPR (memoria de población reemplazable) y MPNR (memoria no reemplazable), evaluándolas, para luego aplicar los operadores genéticos seleccionando las redes más aptas, las cuales pasan por un filtro, el cual se traduce en un proceso iterativo y de esta manera obtener los cromosomas (redes) con

mayor aptitud que conforman el conjunto de soluciones al problema y en base a criterios de diseño seleccionar la red óptima buscada.

Por lo tanto, se realizó el comparativo con una RDA dimensionada sin criterios de optimización versus la red propuesta siguiendo la metodología de diseño, obteniendo una red optimizada en sus objetivos propuestos, la cual será de calidad y eficiente.

ABSTRACT

This paper shows the procedure for optimum design of water distribution networks (RDA) using the method of Micro Genetic Algorithm with three objective functions, looking for maximum reliability resilient, minimal cost and maximum kinematic reliability; developing the software MAGMOREDES vs 1.0, under platform programming language oriented objects JAVA. Also, software development considered restrictions according to regulations regarding minimum pressures in the pipes.

The place of study where this method was applied corresponds to the district Gregorio Albarracin, Vinani Pampas area, from which they are extracted data such as topological elements, demographic characteristics, and hydraulic.

Methodology has been raised to the process of obtaining the optimal network, following the sequence of the principles of natural selection, generating a random initial population of possible networks placed in an MPR (replaceable memory population) and MPNR (not replaceable memory), evaluating them, and then apply the genetics operators selecting the most suitable networks, which pass through a filter, which results in an iterative process and thus obtain chromosomes (networks) with higher fitness that make up the set of solutions to the problem and based on design criteria select the optimal network sought.

Therefore, the comparison was performed with RDA dimensioned without optimization criteria versus network design following the methodology proposed, obtaining an optimized network in its stated objectives, which will be quality and efficient.

INTRODUCCIÓN

Las redes de distribución de agua (RDA), están compuestas por varios elementos como son bombas, reservorios, tubos, válvulas, conectados de tal forma que suministren a los consumidores las cantidades de agua demandada con las presiones requeridas. La infraestructura requerida para cumplir este objetivo requiere de una inversión económica significativa, por lo cual, el proveer un diseño óptimo en las RDA es muy relevante.

Además del aspecto económico, existen aspectos como el comportamiento hidráulico referido a presiones y velocidades mínimas, la disponibilidad de tuberías, la calidad de agua, la distribución de la demanda, la confiabilidad de la red, operación del sistema, lo que hace complicado el realizar un análisis integral que conlleve a un diseño óptimo.

Por lo que, el diseño de una red es considerado un problema combinatorio NP-DURO, lo que significa que no se conoce un método determinístico para solucionarlo en un tiempo polinomial, sino que se requieren de metodologías especiales. Es así que se desarrollaron técnicas tradicionales en el diseño óptimo de RDA, los cuales fueron difíciles de implementar y usualmente llevaban a diámetros continuos. Por lo que, actualmente las soluciones se han enfocado en la implementación de heurísticas derivadas de la naturaleza tales como: algoritmos genéticos, recocido simulado, algoritmos inmunes, entre otros.

Con los avances tecnológicos se pueden realizar cálculos más rápidos y el desarrollo de la computación evolutiva con un enfoque para abordar problemas complejos de búsqueda y aprendizaje a través de modelos computacionales de procesos evolutivos, dan nuevas metodologías de búsqueda estocástica haciendo evolucionar a un conjunto de estructuras y seleccionando de modo iterativo las más adecuadas.

El presente estudio busca como objetivo el trasladar los conocimientos en cuanto a redes de distribución, métodos numéricos para determinar las características hidráulicas y el empleo de un algoritmo genético multiobjetivo para la optimización del diseño. El uso del Micro Algoritmo Genético aplicado al diseño de RDA, determina un conjunto de soluciones factibles, en las cuales se plantea considerar la inversión económica, la confiabilidad de la red (menor probabilidad de presentar fugas o roturas) y la confiabilidad cinemática (velocidades adecuadas en la tubería)

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Condori y Pino (2013) realizan un diseño optimizado de redes de distribución de agua empleando un Micro-Algoritmo Genético Multiobjetivo considerando dos funciones objetivo de minimización de costos y la maximización de la confiabilidad; buscando cumplir las restricciones impuestas según la normativa peruana en cuanto a presiones y velocidades.

Chura y Pino (2012) plantean considerar la implementación de una función objetivo de confiabilidad cinemática que considere la velocidad de circulación en todas las tuberías dentro del rango normativo; además de las ya consideradas de minimización de costo y maximización de la confiabilidad; es por ello que se ha realizado el programa de cómputo para el diseño de redes de distribución de agua potable optimizadas usando Micro Algoritmos Genéticos Multiobjetivo, considerando tres funciones objetivo.

Espinoza y Pino (2011) elaboran el diseño optimizado de una red de agua potable, mediante el uso de Algoritmos Genéticos Multiobjetivo basado en un ordenamiento no dominado NSGA-II, teniendo como objetivos minimizar el costo de la red y maximizar la confiabilidad y siendo las variables de decisión los diámetros comerciales de las tuberías que conforman la red.

1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente se sigue realizando diseños tradicionales de redes de distribución de agua potable, donde prevalece la experiencia del diseñador sin tomar en cuenta los criterios de optimización en cuanto a costo, confiabilidad y velocidad de circulación en la red.

Inclusive, en nuestro país no se consideran criterios para el diseño optimizado de RDAP, debido al desconocimiento de las actuales metodologías. No existen normas donde se considere un diseño optimizado de la misma.

1.3. HIPÓTESIS

Usando Micro Algoritmos Genéticos Multiobjetivo en el desarrollo de un programa de cómputo se posibilitará y facilitará el diseño óptimo de redes de distribución de agua con respecto a las funciones objetivo de máxima confiabilidad tanto resiliente de la red como cinemática y mínimo costo.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Con el crecimiento y desarrollo urbano en la región Tacna y en el Perú, los proyectos de optimización de redes de distribución de agua potable se hacen cada vez más necesarios, teniendo en cuenta las limitaciones de los recursos financieros, la seguridad de los mismos en la garantía del servicio y la problemática del recurso hídrico escaso. Es por ello que es necesario encontrar diseños óptimos de redes de distribución de agua potable (RDAP) que posean

un grado de confiabilidad aceptable, sean eficientes con velocidades aceptables dentro del rango normativo, y a la vez económicos.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Utilizar un Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo en el desarrollo de un programa de cómputo considerando tres funciones objetivo como ser de aumento de la confiabilidad resiliente de la red, confiabilidad cinemática y reducción de costos para el diseño óptimo de redes de distribución de agua potable.

1.5.2. Objetivos específicos

- Aplicar modelos matemáticos para la determinación de las características hidráulicas de una RDAP, usando el Método del Gradiente Hidráulico como motor de cálculo.
- Realizar un programa de cómputo para la optimización de una red de distribución de agua potable, considerando tanto el aumento de la confiabilidad resiliente como confiabilidad cinemática y reducción de costos.
- Evaluar y comparar la red de agua potable existente en el sector Viñani del Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa sin criterios de optimización, con la resultante de la aplicación del método de Micro Algoritmos Genéticos con tres funciones objetivo optimizada.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Identificación de variables

Las variables consideradas en la investigación son:

- Diámetros
- Caudal de diseño
- Confiabilidad resiliente de la red
- Confiabilidad cinemática
- Costo
- Topografía (cotas del terreno)

1.6.2. Caracterización de las variables

Variables independientes:

- Diámetros de la red: Selección de los tipos de diámetros comerciales según NTP ISO 4422.
- Caudal de diseño: Caudal o dotación necesaria para el diseño de las redes de distribución de agua potable.
- Cotas del terreno: Altura absoluta de un punto medido sobre el nivel del mar.

Variables dependientes:

- Confiabilidad resiliente de la red: Basada en la función del índice de conectividad e Índice de Resiliencia.

- Confiabilidad Cinemática: Considera que las velocidades en las tuberías se encuentren en el rango normativo. RNE Norma OS.050: Redes de distribución de agua para consumo humano.
- Costo: Es el costo de la red de distribución de agua, para su determinación se considera el valor comercial de las tuberías más su costo de instalación.

1.6.3. Medición operacional de las variables

- Diámetros de la red: Diámetros comerciales determinados aleatoriamente escogidos de un grupo seleccionado; dependiendo de las características de la red.
- Caudal de Diseño: Caudal fijado en base a un estudio de consumos justificado, sustentado con datos estadísticos comprobados.
- Cotas del Terreno: Cotas determinadas de un estudio topográfico de la zona de Viñani representado en un plano a curvas de nivel.
- Confiabilidad resiliente de la red: Basada en la función del índice de conectividad, que considera la uniformidad de los diámetros de las tuberías conectadas a un nodo y el Índice de Resiliencia que calcula el superávit de potencia por unidad de peso existente en la red. Su valor será medido entre el rango de 0 a 1. Además se considera una red confiable si dicho valor es menor a 0,50, es decir, el valor 0 representa la máxima confiabilidad resiliente de la red.
- Costo: En función del índice de economía que indica los costos de las redes de acuerdo a sus características, definida en porcentaje.

- Confiabilidad Cinemática: Las velocidades se tomarán según el rango especificado en el RNE: de 0,6 a 3,0 m/s – 5,0 m/s.

1.7. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación empleado es una investigación aplicada, en donde se han utilizado los fundamentos del Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo aplicado al diseño óptimo de redes de distribución de agua y usando el método del Gradiente Hidráulico como motor de cálculo.

1.8. ALCANCES Y LIMITACIONES

- Mediante la realización del presente trabajo de investigación se obtendrá el diseño de una red optima de distribución de agua potable en el Sector Viñani del Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, usando el método de Micro Algoritmos Genético Multiobjetivo; en donde se considerará tres objetivos de: minimizar el costo, maximizar la confiabilidad resiliente y mantener una velocidad en la red apropiada, la cual no genere problemas de sedimentación, ni erosión en la tubería.
- El programa elaborado utiliza como motor de cálculo el Método del Gradiente y permite la determinación de los parámetros hidráulicos referentes a la viscosidad del fluido (en m²/s), el cual está definido por defecto a un valor de temperatura de 20°C, y a la rugosidad de la tubería (en mm).

- La configuración de la red existente está compuesta por un reservorio, nodos, tuberías, y válvulas reductoras de presión (VRP). Asimismo, en el programa desarrollado se pueden incluir un mayor número de reservorios y bombas. Sin embargo, no se permite la inclusión de otros tipos de válvulas de control, protección y operación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA GENÉTICA

Lamarck (1800) afirma que una gran modificación en el ambiente de una especie animal daría por resultado la necesidad de un cambio en esa determinada especie. Esta necesidad de cambio, producida por sentimientos internos, causaría en el animal la formación de nuevos hábitos para ajustarse a su nuevo ambiente. Dando origen a las dos suposiciones para el autor del mecanismo de la evolución: Ley del uso y del desuso, y Ley de la herencia de los caracteres adquiridos.

Darwin (1859), hace referencia a que la teoría de la evolución biológica considera que las formas orgánicas ahora existentes proceden de otras distintas que existieron en el pasado, mediante un proceso de descendencia con modificación, siendo la selección el proceso natural más importante que hace posible dicha modificación. La selección natural sostiene que a causa del problema de la disponibilidad de alimentos, los jóvenes miembros de las distintas especies compiten intensamente por su supervivencia. Los que sobreviven, que darán lugar a la siguiente generación, tienden a incorporar variaciones naturales favorables al proceso de selección natural, y estas variaciones se transmitirán a través de la herencia.

Mendel (1865) mediante sus experimentos demostró que la herencia se transmite por elementos particulados (refutando, por tanto, la herencia de las mezclas) y que siguen normas estadísticas. A partir de ello desarrolló tres leyes: Ley de la uniformidad, Ley de la disyunción y Ley de la segregación independiente.

Weismann (1883) enuncia que las partículas hereditarias (biófora) son invisibles, autorreplicativas y asociadas con los cromosomas de un modo lineal. Asimismo cada biófora está implicada en la determinación de una característica. Esta teoría fue denominada Continuidad del Plasma Germinal.

Neo – Darwinismo (1930), considera la fusión de la teoría de la evolución por selección natural, las leyes de la herencia de Mendel y la hipótesis del plasma germinal de Weismann. Establece que toda la vida en el planeta puede ser explicada a través de: Reproducción, mutación, competencia y selección. (a) Reproducción: Mediante este mecanismo se asegura que el material genético se herede de una generación a otra. (b) Mutación: Se produce cuando ocurre un error en la copia del material genético durante la reproducción. Pueden resultar mutaciones benéficas donde el organismo se adapta mejor a su medio. (c) Competencia: Es un proceso natural, en la que los organismos tienen una lucha continua por sobrevivir y heredar su código genético a otra generación. (d) Selección: Los organismos más aptos, tendrán más oportunidad de sobrevivir y por ende de reproducirse.

2.2. COMPUTACIÓN EVOLUTIVA Y ALGORITMOS GENÉTICOS

Lawrance y Fogel (1960), concibieron el uso de la evolución simulada en la solución de problemas. En esta técnica la inteligencia se ve como un comportamiento adaptativo y se enfatiza los nexos de comportamiento entre padres e hijos.

Bienert, Rochenberg, Schwefel (1960), desarrollaron un método de ajustes discretos aleatorios inspirados en el mecanismo de mutación que ocurre en la naturaleza. Estas técnicas fueron denominadas Estrategias Evolutivas.

Holland (1970), realizó el estudio formal de los procesos de adaptación natural y el traslado de estos mecanismos a la computación.

Goldberg (1989), sus resultados teóricos refieren a un algoritmo genético con una población muy pequeña y un proceso de reinicialización. Considera que una población de tres individuos es suficiente para converger, sin importar la longitud del cromosoma.

2.3. DISEÑO ÓPTIMO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Saldarriaga (2007), las redes de distribución de agua de una ciudad están compuestas de dos partes: la primera es una red matriz que está encargada de conducir el agua desde la planta de tratamiento hasta los diferentes tanques de almacenamiento y compensación localizados aguas arriba de los diferentes sectores de abastecimiento (redes abiertas). La segunda parte están conformadas por las redes de distribución secundaria o menores a través de las

cuales el agua potable se mueve desde los tanques de almacenamiento hasta la acometida del usuario final (generalmente redes cerradas).

Una red de distribución de agua es un sistema compuesto por tanques, tubos, bombas, embalses, válvulas y accesorios de diferentes tipos, conectados entre sí con el objeto de llevar este recurso hasta los usuarios finales.

Saldarriaga (2007), dados un conjunto de diámetros comerciales de un determinado material y un número total de tuberías en una red bajo diseño, el número de formas de combinar diámetros-tuberías es extraordinariamente alto. Esto significa que una red puede diseñarse en muchas formas diferentes, pero solamente algunas de ellas podrán cumplir con las restricciones hidráulicas. A pesar de esto, el número de soluciones de diseño factibles sigue siendo muy alto. Una buena metodología de diseño sería aquella que, dentro del conjunto de soluciones de diseño factibles, permitiera escoger la del mínimo costo. Sin embargo, el problema de optimización del diseño de una red de agua potable (RDAP) es muy complicado debido a que la distribución de los caudales en las tuberías es función del diseño, es decir, caudales en las tuberías y alturas piezométricas en los nodos son incógnitas en el proceso de diseño.

Se ha demostrado que la solución al diseño de una RDAP, con todas estas restricciones es un problema NP-DURO (Yates et al. 1984), lo que significa que no se conoce un algoritmo con complejidad de orden polinomial que lo resuelva, sino que su solución requiere de metodologías especiales que en un tiempo

computacional razonable, permitan obtener al menos un mínimo local que satisfaga las restricciones del problema.

Las técnicas de inteligencia artificial (IA) han permitido llegar a establecer diseños muy cercanos al óptimo teórico, de tal modo que hoy en día se considera que el diseño optimizado de RDAP es un problema resuelto. Una consecuencia interesante de estos diseños optimizados es que los diámetros resultantes no obedecen a reglas prefijadas sino que dependen de la localización geográfica de los consumos, de la topografía de la ciudad y de la topología escogida.

Además las restricciones hidráulicas de conservación de masa y energía se manejan mediante un motor de cálculo hidráulico, siendo el más usado actualmente el Método del Gradiente Hidráulico.

2.4. MÉTODO DEL GRADIENTE

2.4.1. Descripción matemática

El método del gradiente para el cálculo de redes de distribución de agua, desarrollado por los profesores E.Todini y Conell (1987) en la Universidad de Newcastle Upon Tyne, considera de que al tenerse un flujo permanente se garantiza que se cumpla la ecuación de conservación de la masa en cada uno de los nodos de la red y la ecuación de conservación de la energía en cada uno de los circuitos de ésta. Por consiguiente, el método se basa en las siguientes tres condiciones:

- Ecuación de continuidad en los nodos:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} (Q_{ij} - Q_{Di} + Q_{ei}) = 0 \dots(1)$$

Donde:

- NT : Número de Tuberías
 - Q_{ij} : Caudal de salida del nodo
 - Q_{Di} : Caudal de demanda del nodo
 - Q_{ei} : Caudal de ingreso al nodo
- Existir relación no lineal entre las pérdidas por fricción y el caudal para cada uno de los tubos que conforman la red:

Ecuación de Darcy:

$$H_f = \frac{fLV^2}{2gD} \dots(2)$$

Ecuación de Colebrook White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{Log} \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \dots(3)$$

Reemplazando en las ecuaciones, tenemos:

$$H_f = \frac{fLV^2}{2gD} \rightarrow \frac{1}{f} = \frac{LV^2}{2gDH_f} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{\sqrt{LV^2}}{\sqrt{2gDH_f}} \dots(4)$$

De las ecuaciones tenemos:

$$Q = \frac{-2\sqrt{2gDH_f}}{\sqrt{L}} \text{Alog} \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51v\sqrt{L}}{\sqrt{2gD^3\sqrt{H_f}}} \right) \dots(5)$$

En la ecuación (5) se ha utilizado la ecuación de Darcy-Weisbach y la de Colebrook-White, ya que durante el proceso de diseño de redes, no se tiene el control sobre el número de Reynolds en todas las tuberías de la red, lo cual invalida el uso de la ecuación de Hazen Williams.

- En cada tubo la energía total disponible se gasta en pérdidas por fricción y en pérdidas menores.

$$Hf = hf + \sum h_m \dots (6)$$

Si se tiene en cuenta las pérdidas menores causadas por cualquier tipo de accesorio y la posible existencia de bombas en algunos de los tubos de la red, la ecuación (6) toma la siguiente forma:

$$Hf = \alpha Q_i^n + \beta Q + \gamma \dots (7)$$

Donde:

- n : Exponente que depende de la ecuación de fricción utilizada (2,0 para el caso de la ecuación de Darcy-Weisbach).
- α, β, γ : Parámetros característicos del tubo, válvulas y bombas.

En el caso de que en una tubería particular solo ocurren pérdidas por fricción y pérdidas menores normales que son función de la altura de velocidad únicamente, se tendrá:

$$H_1 = \alpha Q_n \dots (8)$$

$$hf + \sum h_m = \alpha Q_n \dots (9)$$

Usando la ecuación de Darcy- Weisbach, se obtiene:

$$\alpha = \frac{f_a^l + \sum Km}{2gA^2} \dots (10)$$

Definiciones para la descripción de la topología de la red

- NT : Número de tuberías de la Red.
- NN : Número de nodos con altura piezométrica desconocida.
- NS : Número de nodos de altura piezométrica fija o conocida.
- [A12] : Matriz de conectividad asociada a cada uno de los nodos de la red. De dimensión: NT x NN.
 -1: en la columna que corresponde al nodo inicial del tramo i.
 1: en la columna que corresponde al nodo final del tramo i.
- [A10] : Matriz topológica tramo a nodo para los números de nodos de altura piezométrica fija o conocida. Su dimensión es NT x NS.
 -1: en la fila que corresponde a los tramos conectados a nodos de altura piezométrica fija.
- [A21] : Matriz Transpuesta de [A12]

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, la pérdida de carga en cada tramo de tubería que conecte dos nodos de la red es:

Ecuación de Conservación de la Energía

$$[A11][Q] + [A12][H] = -[A10][H_0] \dots (11)$$

Donde:

[Q] : Vector de caudales con dimensión NT x 1

[H] : Vector de alturas piezométricas desconocidas con dimensión
NN x 1

[H₀] : Vector de alturas piezométricas fijas con dimensión NS x 1

$$[A11] = \begin{bmatrix} \alpha_1 Q_1^{(n1-1)} + \beta_1 + \frac{\gamma_1}{Q_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 Q_2^{(n2-1)} + \beta_2 + \frac{\gamma_2}{Q_2} & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \alpha_{NT} Q_{NT}^{(nNT-1)} + \beta_{NT} + \frac{\gamma_{NT}}{Q_{NT}} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Ecuación de continuidad para todos los nodos de la red

$$[A21][Q] = [q] \dots (13)$$

[q] : Vector de consumo (demanda) o de entrada (oferta) en cada
nodo de la red. Dimensión NN x 1.

Por tanto, de las ecuaciones 11 y 12 en términos matriciales se tiene:

$$\begin{bmatrix} [A11] & [A12] \\ [A21] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [Q] \\ [H] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -[A10][H_0] \\ [q] \end{bmatrix} \dots (14)$$

Para la ecuación (14), la parte superior corresponde a la relación Q versus H y la inferior a la conservación de la masa en cada uno de los nodos, siendo la parte superior no lineal no se puede resolver en forma directa; es por ello se utilizará el algoritmo iterativo del método del gradiente.. Al operar simultáneamente:

$$\begin{bmatrix} [N][A11] & [A12] \\ [A21] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [dQ] \\ [dH] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [dE] \\ [dq] \end{bmatrix} \dots (15)$$

Donde:

[A11]': Matriz con dimensión NT x NT:

$$[A11] = \begin{bmatrix} \alpha_1 Q_1^{(n1-1)} & 0 \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 Q_2^{(n2-1)} \dots & 0 \\ 0 & 0 \dots & \alpha_{NT} Q_{NT}^{(NT-1)} \end{bmatrix} \dots (16)$$

En base a las condiciones y ecuaciones dadas, finalmente se tiene:

$$\begin{aligned} [H_{i+1}] &= -\{[A21]([N][A11]')^{-1}[A12]\}^{-1}\{[A21]([N][A11]')^{-1}([A11][Q_i] \\ &\quad + [A10][H_0]) - ([A21][Q_i] - [q])\} \\ [Q_{i+1}] &= \{[I] - ([N][A11]')^{-1}[A11]\}[Q_i] \\ &\quad - \{([N][A11]')^{-1}([A12][H_{i+1}] + [A10][H_0])\} \end{aligned}$$

Siendo respectivamente las ecuaciones anteriores la numero (17) y (18).

2.4.2. Características especiales del método

Algunas características especiales que hacen del método del gradiente el mejor método de cálculo de redes se mencionan a continuación:

- Se puede implementar un método de cálculo eficiente, basado en el algoritmo del gradiente conjugado preconditionado con la factorización incompleta de Cholesky y tratamiento de matrices dispersas.
- La manipulación de las matrices dispersas típicas del método del gradiente reduce la memoria requerida y el tiempo de cálculo en el computador.
- Todo lo anterior no es posible en el método de la teoría lineal, ya que este sistema que tiene que ser resuelto no es simétrico.
- El método del gradiente resuelve un sistema de dimensión NN x NN, mientras que el método de la teoría lineal resuelve un sistema de NT x NT.

Debido a que en todos los casos $NN < NT$, el método del gradiente es más veloz y requiere menos memoria en el computador, aun utilizando el mismo algoritmo de solución. El sistema de ecuaciones que se monta puede llegar a ser 50% menor en el caso de redes grandes.

- El método del gradiente calcula y ajusta simultáneamente los caudales y las alturas piezométricas, ya que es el método más eficiente, esto reduce el número de iteraciones con respecto al método de la teoría lineal.
- El método del gradiente no requiere la definición de caminos de energía o circuitos, lo cual implica que el número de datos que el usuario debe proporcionar al computador es menor, facilitándose así el manejo de los mismos.

2.5. ALGORITMOS GENÉTICOS

Koza (1992) define el algoritmo genético como un algoritmo matemático altamente paralelo que transforma un conjunto de objetos matemáticos individuales con respecto al tiempo usando operaciones modeladas de acuerdo al principio Darwiniano de reproducción y supervivencia del más apto, y tras haberse presentado de forma natural una serie de operaciones genéticas de entre las que destaca la recombinación sexual. Cada uno de estos objetos matemáticos suele ser una cadena de caracteres (letras o números) de longitud fija que se ajusta al modelo de las cadenas de cromosomas, y se les asocia con una cierta función matemática que refleja su aptitud.

Holland (1975), los AGs son algoritmos matemáticos de optimización de propósito general basados en mecanismos naturales de selección y genética. Los AGs han proporcionado excelentes soluciones a problemas complejos con gran número de parámetros y conforman un paradigma de búsqueda probabilística, inspirada en la teoría de la evolución de Darwin.

Su objetivo principal es evolucionar a partir de una población de soluciones para un determinado problema, intentando producir nuevas generaciones de soluciones que sean mejores que la anterior. Estos algoritmos operan en un ciclo simple: creación de la población inicial, selección y reproducción. Este último implica una recombinación y mutación del material genético de las soluciones.

Goldberg (1989). Un AG empieza con un conjunto inicial (población) de soluciones alternativas (individuos) para el problema a resolver, las cuales son evaluadas en términos de la adecuación de la solución. Los operadores de selección, cruce y mutación son aplicados para obtener nuevos individuos (descendientes) que constituyen una nueva población. La interacción de los operadores a los individuos más aptos conduce al incremento de la calidad de las soluciones durante el curso de muchas iteraciones (generaciones). Cuando se encuentra un criterio de terminación, finaliza el proceso de búsqueda y se presenta la solución. El AG utiliza un conjunto de parámetros que el usuario introduce para guiar el proceso evolutivo, tales como el tamaño de la población, el número máximo de generaciones y las probabilidades de cruce y mutación. A continuación se describirán cada una de estas etapas.

2.5.1. Representación

Coello (1995) en términos biológicos, un cromosoma es una solución del problema en un AG. Estos están compuestos por unidades binarias denominadas genes. Cada gen posee un valor denominado alelo y a su posición en el cromosoma "lugar". Al paquete genético total se le denomina genotipo y a la interacción del genotipo con su entorno se le denomina fenotipo. La adaptación de cada individuo depende de su fenotipo, el cual se puede inferir de su genotipo.

En un AG aplicado a RDA, las soluciones potenciales a un problema se representan mediante los diámetros (cromosomas) de cada tramo de tubería, cuyo número es igual a las variables existentes en la solución. En base a ellos se tiene el conjunto de solución (genotipo), que vendrá a ser una mejor o peor solución al problema de acuerdo a sus características (fenotipo).

2.5.2. Población inicial

Coello (1995). Una población inicial está formada por un conjunto de m (tamaño de la población) individuos, donde m es un parámetro de entrada al AG. Para obtener la población inicial se generan cadenas aleatoriamente, pudiendo contener cada gen uno de los posibles valores con probabilidad uniforme. El procedimiento de inicialización de un individuo consiste simplemente en asignar, para cada gen de su cromosoma, que en el caso de RDA son los diámetros de cada tramo.

2.5.3. Funciones de aptitud

Coello (1995). Consiste en asignar un valor numérico de adaptación a cada cromosoma, el cual es proporcional a la utilidad o habilidad del individuo representado. Por otra parte una dificultad en el comportamiento del AG puede ser la existencia de gran cantidad de óptimos locales, así como el hecho de que el óptimo global se encuentre muy aislado.

Adicionalmente debe ser rápida, ya que hay que aplicarla para cada individuo de cada población en las sucesivas generaciones, por lo cual, gran parte del tiempo de corrida de un algoritmo genético se emplea en la función de evaluación.

Toscano (2001). Un problema habitual presentado en la función de aptitud es la convergencia prematura, es decir cuando existen individuos con una adaptación al problema muy superior al resto, los cuales dominan a la población a medida que avanza el algoritmo. Por medio de una transformación en la función, en este caso una compresión del rango de variación de la función o bien controlando el número de oportunidades reproductivas de cada individuo, se pretende que dichos superindividuos no lleguen a dominar la población. También en el caso contrario, una convergencia lenta del algoritmo se resolvería de manera análoga, pero en este caso efectuando una expansión del rango de la función.

2.5.4. Operadores Genéticos

Goldberg (1989). Después de ser evaluadas todas las soluciones de la población en una generación, el proceso evoluciona hacia una nueva generación. Esta nueva generación sufrirá transformaciones dentro de un esquema básico de

funcionamiento. Los cambios en la nueva generación están dados básicamente por medio de tres operadores genéticos: reproducción, cruza y mutación.

2.5.4.1. Selección

Goldberg (1989). Sirve para escoger a los individuos de la población mejor adaptados, para que sean cromosomas progenitores de la siguiente de acuerdo al grado de bondad que aporten al problema (a mayor bondad, mayores oportunidades de ser seleccionados).

Los criterios más usados en la práctica son: por sorteo, universal o por ruleta y por torneos. Son muestreos estocásticos, en los cuales se asigna una probabilidad de selección o puntuación a cada elemento de la población con base en su bondad o función de aptitud. Se asumirá la notación siguiente: la puntuación p_i asociada al individuo x_i de la población $P = \{x_1, \dots, x_n\}$.

- Por Sorteo

Las puntuaciones son las probabilidades de elección para formar la muestra, la cual se construye a partir de k ensayos de una variable aleatoria con dicha distribución de probabilidades. Para escoger k individuos se hace lo siguiente:

- Se calculan las puntuaciones acumuladas así:

$$q_0 = 0$$

$$q_i = p_1 + \dots + p_i \quad \text{para toda } i = 1, \dots, n$$

- Se generan k números aleatorios simples r_j para toda $j = 1, \dots, k$
- Para cada $j = 1, \dots, k$ se elige el individuo x_i , que verifique:

$$q_{i-1} < r_j < q_i$$

Existe la posibilidad de que un individuo pueda ser elegido en repetidas ocasiones dentro de una muestra o también puede no ser seleccionado nunca.

- Por Ruleta

Similar al muestreo por sorteo, con este método la probabilidad que tiene un individuo de reproducirse es proporcional a su valor de función de evaluación, es decir, a su adaptación; ahora se genera un único número aleatorio simple r y con él se asignan todas las muestras de modo parecido a como se haría al girar una ruleta. Este tipo de muestreo es sencillo y rápido de implementar y en la práctica proporciona unas características análogas a las del muestreo por sorteo.

- Por Torneos

Reporta un coste computacional muy bajo debido a su sencillez. Cada elemento de la muestra se toma eligiendo el mejor de los individuos de un conjunto de z elementos tomados al azar de la población base; esto se repite k veces hasta completar la muestra. El parámetro z suele ser un entero pequeño comparado con el tamaño de la población base.

2.5.4.2. Cruza

Goldberg (1989). Permite realizar una exploración de toda la información almacenada hasta el momento en la población y combinarla para crear mejores individuos. Luego de formar la nueva población en la generación actual, se procede a aplicar el primer operador de recombinación, el operador de cruza o reproducción sexual de los individuos seleccionados. En esta etapa los individuos intercambian material cromosómico para generar descendientes, los

cuales formarán la siguiente generación. Dentro de los métodos habituales se consideran los siguientes:

- Cruce de un punto: Es el método de cruce más sencillo, donde se toman dos individuos y se corta sus cromosomas en una posición seleccionada al azar, produciendo dos segmentos anteriores y dos posteriores. Los posteriores se intercambian para obtener los cromosomas nuevos.

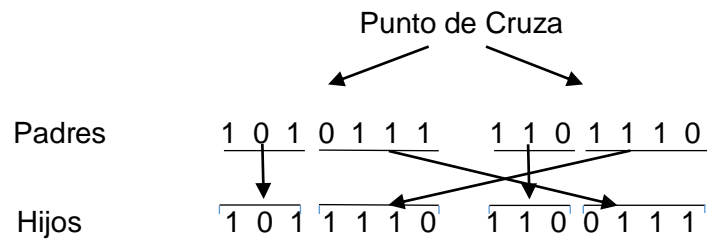


Figura 1: Operador de cruce basado en un solo punto
Fuente: Peña, Desarrollo de un Applet en Java con Magmo

- Cruce de dos puntos: Se procede de manera similar. Se escogen dos individuos, se escogen dos puntos aleatoriamente, obteniendo dos segmentos anteriores, dos medios y dos posteriores, luego se intercambian los segmentos de en medio para así obtener los cromosomas nuevos.

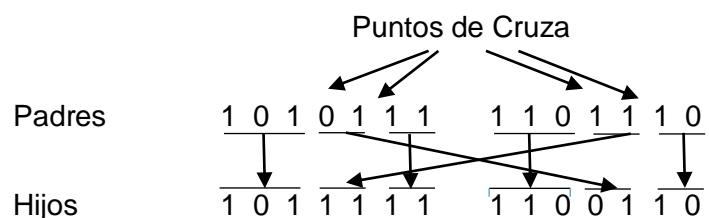


Figura 2: Operador de cruce basado en dos puntos
Fuente: Peña, Desarrollo de un Applet en Java con Magmo

La cruce se maneja como una puntuación que indica la frecuencia con la que se efectuará. De aquí que no todas las parejas se cruzarán, sino que algunas pasarán intactas a la siguiente generación. También existe la posibilidad de que uno o los dos puntos de cruce se encuentren en los extremos de la cadena, en cuyo caso sólo se hará una cruce usando un solo punto, o ninguna cruce, según corresponda.

- Cruce de n puntos: Es una generalización del método anterior. Se seleccionan varias posiciones (n) en las cadenas de los progenitores y se intercambian los genes a ambos lados de estas posiciones

Hay otro operador propuesto originalmente en Alemania llamado elitismo, el cual consiste en mantener intacto a través de las generaciones al individuo más apto, por lo que no se cruza sino hasta que surge otro individuo mejor que él.

2.5.4.3. Mutación

Goldberg (1989). Su objetivo es producir nuevas soluciones a partir de la modificación de un cierto número de genes de una solución existente, con la intención de fomentar la variabilidad dentro de la población. Existen diversas formas de realizar la mutación, siendo de forma puntual donde cada gen muta aleatoriamente con independencia del resto de genes, hasta configuraciones más complejas donde se tiene en cuenta la estructura del problema y la relación entre los distintos genes.

Por tanto, permite la introducción de nuevo material cromosómico en la población, tal y como sucede con sus equivalentes biológicos. Se maneja como

un porcentaje que indica con qué frecuencia se efectuará. Se aplica con poca frecuencia.

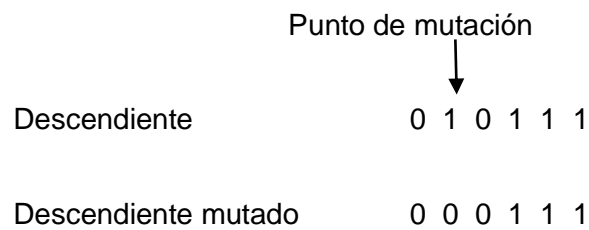


Figura 3: Operador Genético de Mutación Sencilla
Fuente: Peña, Desarrollo de un Applet en Java con Magmo

2.5.5. Parámetros

Coello (1995). En cuanto a los parámetros que usa el AG, los más significativos son: el tamaño de la población, el número de generaciones, la probabilidad de cruce y la probabilidad de mutación.

La elección de posibles tamaños de la población para representaciones binarias de longitud fija, se puede calcular en función de la longitud de los cromosomas. Asimismo, el número esperado de generaciones hasta la convergencia puede verse como una función logarítmica del tamaño de la población.

Peña (2002). Para las probabilidades de cruce y mutación, los estudios realizados apuntan hacia una alta probabilidad de cruce y una baja probabilidad de mutación.

Los siguientes valores han sido considerados como aceptables para un buen rendimiento de los AG en funciones de optimización:

- Tamaño de la población: 50 – 100.
- Probabilidad de cruce: mayor igual al 60%.
- Probabilidad de mutación: por lo general no supera el 5%.

2.5.6. Tipos de Algoritmos Genéticos

Cada tipo de AG se basa en la naturaleza, pero cada uno tomado de una metáfora distinta.

2.5.6.1. Algoritmos Genéticos Generacionales

Se asemeja a la forma de reproducción de los insectos, donde una generación pone huevos, se aleja geográficamente o muere y es sustituida por una nueva. En este modelo se realizan cruces en una piscina de individuos, los descendientes son puestos en otra, al final de la fase reproductiva se elimina la generación anterior y se pasa a utilizar la nueva. Este modelo también es conocido como Algoritmo Genético Canónico.

2.5.6.2. Algoritmos Genéticos de Estado Fijo

Utilizan el esquema generacional de los mamíferos y otros animales de vida larga, donde coexisten padres y sus descendientes, permitiendo que los hijos sean educados por sus progenitores, pero también a la larga se genere competencia entre ellos.

En este modelo, no sólo se debe seleccionar los dos individuos a ser padres, sino también cuales de la población anterior serán eliminados, para hacer espacio a los descendientes.

La diferencia esencial entre el reemplazo generacional y el modelo de estado fijo, es que las estadísticas de la población son recalculadas luego de cada cruce y los nuevos descendientes están disponibles inmediatamente para la reproducción. Esto permite al modelo utilizar las características de un individuo progenitor tan pronto como es creado.

Algunos autores creían que este modelo tiende a evolucionar más rápido que el modelo generacional, sin embargo investigaciones de Goldberg y Deb (1993) encontraron que las ventajas parecen estar relacionadas con la alta tasa de crecimiento inicial, señalan que los mismos efectos pueden ser obtenidos en rangos de adaptación exponencial o selección por competencia.

2.5.6.3. Algoritmos Genéticos paralelos

Parte de la metáfora biológica que motivó a utilizar la búsqueda genética consiste en que es inherentemente paralela, donde al evolucionar se recorren simultáneamente muchas soluciones, cada una representada por un individuo de la población. Sin embargo, es muy común en la naturaleza que no sólo sea una población evolucionando, sino varias poblaciones, normalmente aisladas geográficamente, que originan respuestas diferentes a la presión evolutiva. Esto origina dos modelos que toman en cuenta esta variación, y utilizan no una población como los anteriores sino múltiples concurrentemente.

- Modelo de Islas

Consiste en dividir una población en varias subpoblaciones (islas), en cada una de las cuales se ejecutará un AG. Cada cierto número de generaciones se efectúa un intercambio de información entre subpoblaciones. A este proceso se

le denomina migración. La introducción de la migración hace que los modelos de islas sean capaces de explotar las diferencias entre las subpoblaciones, obteniendo así una fuente de diversidad genética. El índice de migración es muy importante, pues de éste depende la convergencia prematura de la búsqueda. Es posible distinguir diferentes modelos de islas en función de su intercambio de información genética. A continuación se describen algunos.

- **Comunicación en estrella**

Se selecciona una subpoblación como maestra (la que tiene mejor media con base en el valor de la función objetivo), siendo las restantes consideradas como esclavas. Todas las subpoblaciones esclavas mandan a sus mejores individuos a la subpoblación maestra y ésta a su vez manda a sus mejores individuos a cada una de las subpoblaciones esclavas.

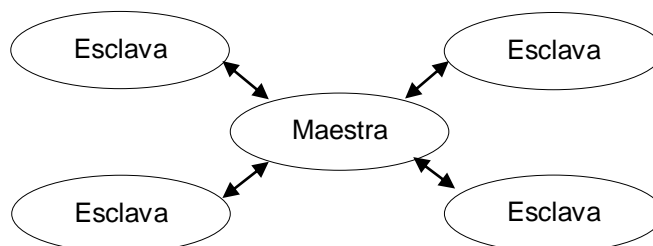


Figura 4: Modelo de Islas - Comunicación en Estrella
Fuente: Peña, Desarrollo de un Applet en Java con Magmo

- **Comunicación en red**

No existe jerarquía entre subpoblaciones. Todas las subpoblaciones mandan a sus mejores individuos al resto de las subpoblaciones.

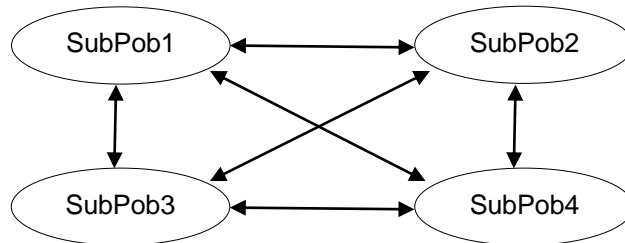


Figura 5: Modelo de Islas - Comunicación en red
Fuente: Peña, Desarrollo de un Applet en Java con Magmo

- Comunicación en Anillo

Cada subpoblación envía a sus mejores individuos a otra subpoblación vecina, efectuándose la migración en un solo sentido de flujo.

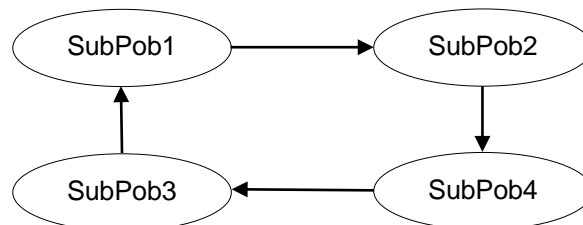


Figura 6: Modelo de Islas - Comunicación en Anillo
Fuente: Peña, Desarrollo de un Applet en Java con Magmo

- Modelo Celular

Coloca cada individuo en una matriz, donde cada uno sólo podrá reproducirse con los individuos que tenga a su alrededor, escogiendo al azar o al mejor adaptado. El descendiente pasa a ocupar una posición cercana.

No hay islas en este modelo pero hay efectos potenciales similares. Se da cuando la cruce está restringida a individuos adyacentes. Entonces, si dos

individuos están separados por varios espacios, están tan aislados como si estuvieran en dos islas. Este caso es conocido como aislamiento por distancia.

Luego de la primera evaluación, los individuos continúan distribuidos al azar sobre la matriz. Entonces empiezan a emerger zonas con cromosomas y adaptaciones semejantes. La reproducción y selección local crean tendencias evolutivas aisladas; luego de varias generaciones, la competencia local resultará en grupos más grandes de individuos semejantes.

2.6. OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO

La toma de decisiones es algo que no se puede eludir ya que ocurre diariamente y a cada instante. En la vida cotidiana estos problemas son resueltos mediante el uso del sentido común e intuición, pero en ingeniería deben ser resueltos eficientemente y en un tiempo razonable.

La toma de decisiones puede verse como un problema de optimización en el cual generalmente están involucradas dos o más objetivos (y mayormente están expresadas en unidades diferentes y se encuentran en conflicto entre sí). A este problema se le denomina optimización multiobjetivo o multicriterio, y tiene la característica particular de que no existe una solución única, sino un conjunto de soluciones válidas. Esta característica es llevada a cabo porque ninguna de ellas domina a las demás soluciones en todas las funciones objetivo siendo llamadas no dominadas.

2.6.1. Conceptos básicos

Osyczka (1985) define la optimización multiobjetivo como el problema de encontrar un vector de variable de decisión que satisfaga las restricciones y optimice una función vectorial cuyos elementos representen las funciones objetivo. Estas funciones forman una descripción matemática de criterios de desempeño que están usualmente en conflicto entre sí. Por lo tanto, el termino optimizar significa encontrar aquella solución que daría un valor aceptable al diseñador en todas las funciones objetivo.

En la teoría de la decisión con objetivos múltiples, se consideran los siguientes conceptos:

- **Atributos:** son los valores del tomador de decisiones que corresponden con la realidad y son medidos con independencia de sus deseos. Se expresan como una función matemática $f(x)$ de las variables de decisión.
- **Variables de decisión:** son las cantidades numéricas cuyos valores representan soluciones para el problema de optimización. Estas soluciones deben satisfacer las restricciones del problema específico para ser soluciones válidas.
- **Objetivos:** son las direcciones de mejora de los atributos. Hay sólo dos direcciones: máximo y mínimo. Luego, los objetivos implican la maximización o minimización de las funciones que corresponden a los atributos, esto es, $\text{Max } f(x)$ ó $\text{Min } f(x)$.
- **Niveles de aspiración:** es el nivel aceptable de logro para un atributo.

- Metas: se generan al combinar un atributo con el nivel de aspiración correspondiente. Las metas se representan como desigualdades y su expresión matemática será $f(x) \geq, \leq, \text{ ó } = t$, donde el parámetro t representa el nivel de aspiración. A pesar de que se representan igual que las restricciones tradicionales, existe diferencia entre ambos conceptos en dependencia del significado que se le da al término de la derecha de la correspondiente desigualdad. Cuando se trata de una restricción tradicional, el término de la derecha debe alcanzarse para lograr una solución factible; cuando se trata de una meta, el término de la derecha es un nivel de aspiración deseado por el centro decisor que puede o no alcanzarse.
- Criterios: son los atributos, objetivos o metas que se consideran relevantes en el problema decisional.

2.6.2. Descripción del problema

La optimización con objetivos múltiples, consiste en encontrar un vector de variables de decisión.

$$\bar{X}^* = [X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*]^T$$

Donde:

- n : Número de variables de decisión), que satisfaga

Las m restricciones de desigualdad.

$$g_1(\bar{X}) \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Las p restricciones de igualdad:

$$g_1(\bar{X}) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, p$$

Donde:

- $p < n$: De lo contrario no quedarían grados de libertad para la optimización.

Y que optimice la función vectorial:

$$f(\bar{X}) = [f_1(\bar{X}), f_2(\bar{X}), \dots, f_k(\bar{X})]^T$$

Donde:

- $f_i(\bar{X})$: Representa la función objetivo para el criterio i .
- $\bar{X} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$: Es el vector de variables de decisión
- K : Es el número de objetivos o criterios de optimización

Dichas funciones objetivo forman una descripción matemática de los criterios de desempeño que usualmente están en conflicto entre sí.

2.6.3. Óptimo de Pareto

Para la optimización con objetivos múltiples no existe una solución óptima única, sino un conjunto de soluciones no dominadas, en las cuales no existen soluciones mejores en todos los objetivos del problema. A este conjunto de soluciones se denomina conjunto de Pareto, que recibe este nombre en honor del economista que lo desarrolló: Vilfredo Pareto (1848 - 1923).

Un conjunto de soluciones es un óptimo de Pareto cuando está formado por soluciones factibles, esto es, que cumplen las restricciones, tales que no existe otra solución factible que proporciona una mejora en un atributo sin producir un empeoramiento en al menos otro de los atributos.

De manera formal, un punto $\bar{X}^* \in F$ es óptimo de Pareto si para toda $\bar{X} \in F$.

$$f_i(\bar{X}^*) = f_i(\bar{X}) \text{ para toda } i \in I, i = 1, 2, \dots, k$$

O hay al menos una $i \in I$, tal que

$$f_i(\bar{X}^*) > f_i(\bar{X})$$

2.6.3.1. Aspectos formales

Las aplicaciones de los frentes de Pareto son múltiples en toma de decisiones, en entornos de optimización con objetivos múltiples y, en general, análisis de costo-beneficio.

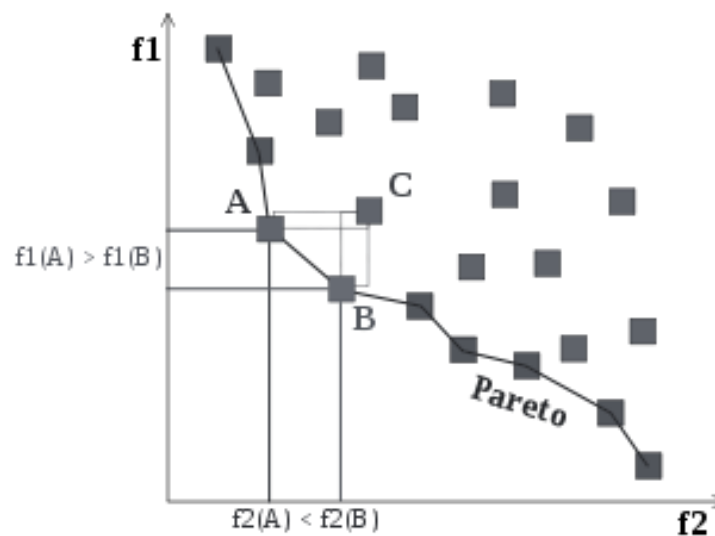


Figura 7: Frente de Pareto.

Fuente: Introducción a la optimización evolutiva multiobjetivo

En la Figura 7 se observa que los cuadrados representan posibles soluciones o decisiones. La opción o solución C no está en el frente de Pareto dado que es dominado por A y B, esos a su vez no son dominados por ningún otro, consecuentemente están en la frontera o frente de Pareto.

Desde este punto de vista, el concepto se utiliza a fin de analizar las posibles opciones óptimas de un individuo dada una variedad de objetivos y uno o varios criterios de evaluación.

El estudio de las soluciones en el frente permite a los diseñadores analizar las posibles alternativas dentro de los parámetros establecidos, sin tener que analizar la totalidad de posibles soluciones. Por tanto el diseñador deberá tomar la decisión de escoger o seleccionar la mejor alternativa en base a los criterios que son las funciones objetivo y las cuales están sujetas a las características de la zona para la cual se diseña la red de distribución de agua.

2.6.3.2. Dominancia

En el procedimiento de optimización multiobjetivo se debe definir el criterio de dominancia, el cual define que una solución $x(1)$ domina a otra solución $x(2)$ si se cumplen las siguientes condiciones:

- La solución $x(1)$ no es de menor calidad que $x(2)$ en todos los objetivos.
- La solución $x(1)$ es estrictamente mejor que $x(2)$ en al menos uno de los objetivos.

Aplicando iterativamente estas reglas sobre un conjunto de soluciones al problema de optimización multiobjetivo, se puede establecer cuáles son las alternativas dominantes o conjunto no dominado; las soluciones restantes forman parte del conjunto de soluciones dominadas. Mediante estas definiciones se pretende establecer que soluciones son mejores que otras separando por niveles la población de posibles soluciones al problema, de acuerdo a su nivel de

adaptación a las funciones objetivo y restricciones planteadas, generándose así los diversos frentes de dominancia.

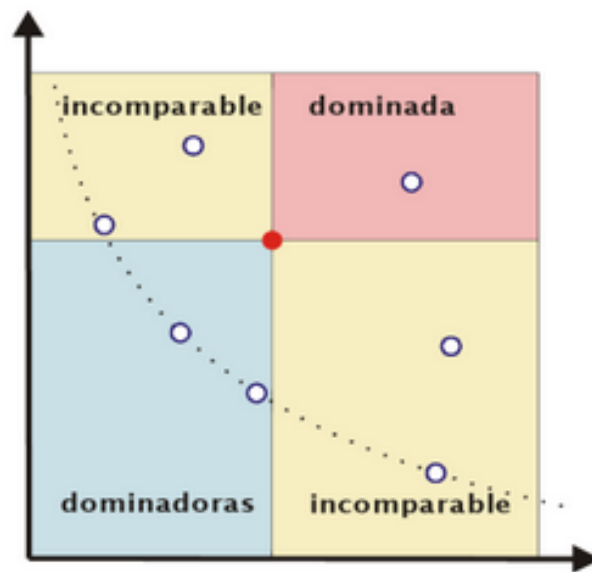


Figura 8: Relaciones de Pareto – Dominancia.

Fuente: Optimización de sistemas de detección de intrusos en red utilizando técnicas computacionales avanzadas

De la Figura 8 muestra las relaciones de Pareto – dominancia entre un conjunto de soluciones. Tomando como referencia la solución mostrada en color rojo, podemos encontrar soluciones dominadas por ella, soluciones que la dominan y otras soluciones indiferentes, siendo el conjunto de soluciones unidas mediante la línea discontinua el conjunto de soluciones no Dominadas.

2.6.4. Dificultades en la Optimización con Objetivos Múltiples

En un problema con objetivos múltiples, no resulta obvio determinar qué es lo óptimo. Los objetivos son usualmente conflictivos y contradictorios. Una solución

puede ser muy buena con respecto a un objetivo, pero al mismo tiempo ser mala para otro. Al considerar, por ejemplo, el diseño de un aparato electrónico, uno buscaría maximizar el desempeño del aparato dadas ciertas características electrónicas y minimizar el costo de producir el aparato. Estos objetivos no pueden ser combinados en una sola función porque son inconmensurables, esto es, están medidos en unidades distancias. Otro problema es la representación del espacio de decisiones. En problemas bi-objetivo esta representación es relativamente sencilla. Si pasamos a un problema con tres objetivos (como es el señalado en esta investigación), al querer realizar una representación cartesiana, se definirá un gráfico de tres dimensiones, lo cual genera el problema más complejo.

2.6.5. Técnicas para la Optimización con Objetivos Múltiples

Se han desarrollado un gran número de técnicas para la optimización con objetivos múltiples, a partir de que el economista Vilfredo Pareto presentara en 1986 el concepto de solución compromiso. Estas técnicas se pueden clasificar en dos grandes grupos: tradicionales (Investigación de Operaciones) y alternativas (algoritmos evolutivos, método de Monte Carlo, recocido simulado, búsqueda tabú entre otras).

2.6.5.1. Técnicas Tradicionales

Coello (1999). Las técnicas tradicionales siguen siendo desarrolladas, sin embargo son altamente limitadas y costosas para obtener una respuesta, a medida que crece el problema. Además, en caso de hallar soluciones no

dominadas, éstas resultan ser una única solución o una porción limitada del frente de Pareto esperado.

En la siguiente tabla se presenta una clasificación de los principales métodos que se emplean en las técnicas tradicionales con sus clásicos exponentes.

Cuadro 1: Técnicas tradicionales empleadas en la Optimización con Objetivos Múltiples

TÉCNICAS TRADICIONALES	
Métodos sin preferencias	Método del Criterio Global Método multiobjetivo de los paquetes próximos
Métodos a priori	Método de la función valor Método Lexicográfico Programación de metas
Métodos a posteriori	Método de suma de pesos Método de ϵ restricciones
Métodos interactivos	Método interactivo de compromisos valuados Método de satisfacción de compromisos Método de Geoffrion- Dyer –Feinberg Técnica secuencial de optimización próxima Método de Tchebycheff Método de punto de referencia Método GUESS Búsqueda Light Beam Enfoque de referencia de dirección Método Nimbus

2.6.5.2. Técnicas evolutivas

Coello (1999). Las principales técnicas evolutivas para optimización multiobjetivo son las siguientes:

Cuadro 2: Técnicas evolutivas empleadas en la Optimización Multiobjetivo

TÉCNICAS EVOLUTIVAS	
Formas Simplistas	Suma de pesos Programación de metas Satisfacción de metas Método de ε restricciones
Técnicas no basadas en óptimos de Pareto	Vector Evaluated Genetic Algorithm, VEGA Ordenamiento Lexicográfico Uso de géneros para identificar objetivos Uso de Min/ Max con pesos Algoritmo genético no generacional Uso de pesos generados aleatoriamente y elitismo
Técnicas basadas en óptimos de Pareto	Multiobjetivo Genetic Algorithm, MOGA Non-dominated Sorting Genetic Algorithm, NSGA Niche Pareto Genetic Algorithm, NPGA NSGA II Pareto Archived Evolution Strategy, PAES

2.7. MICRO ALGORITMO GENÉTICO

Toscano, Coello (2001) desarrollan un algoritmo tomando la tendencia actual que dicta el desarrollo de técnicas eficientes mediante la reducción del chequeo de dominancia y el posicionamiento geográfico como mecanismo para mantener la diversidad en el Frente de Pareto. Considera el elitismo para obtener un frente de Pareto con una mejor calidad de soluciones y menor costo computacional.

2.7.1. Estructura del Algoritmo

El Micro Algoritmo trabaja de la siguiente forma:

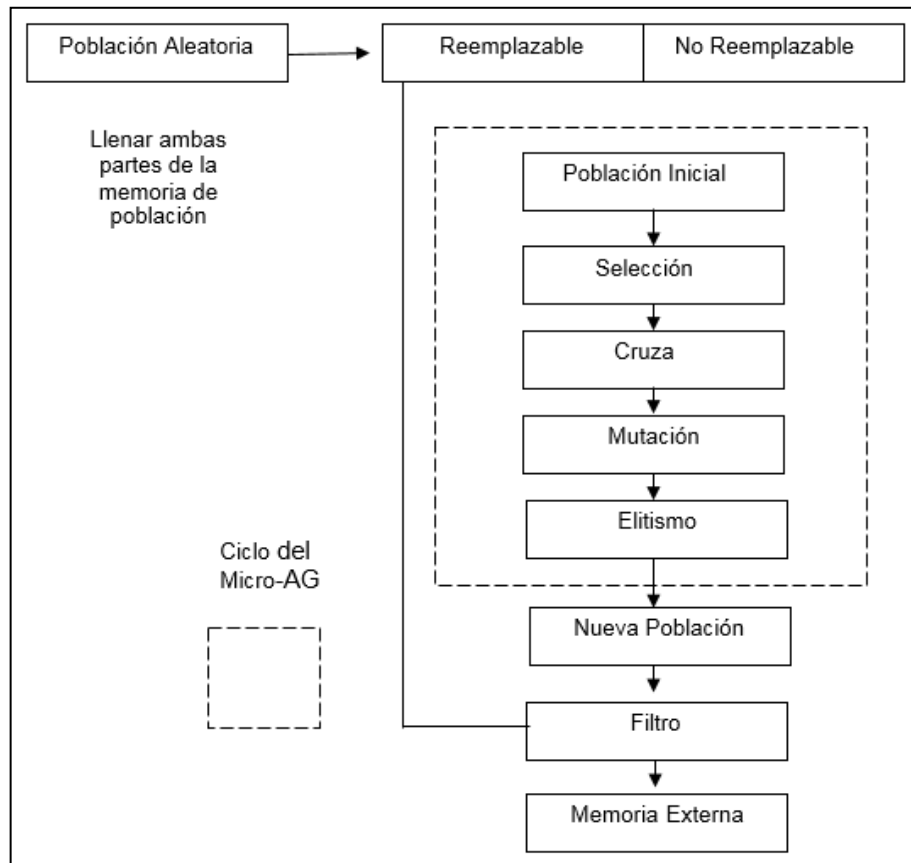


Figura 9: Estructura del MAGMO.
Fuente: Toscano, Coello, 2001

Al iniciar el algoritmo se llena la memoria de población P , con individuos generados aleatoriamente. La memoria está constituida por dos partes: P_r (población reemplazable) y P_{nr} (población no reemplazable). De esta memoria, el MAGMO toma de forma aleatoria una pequeña cantidad de individuos, los cuales serán la población de trabajo P_t que irá evolucionando. Posteriormente, después de ejecutar el MAGMO durante un número de generaciones permitidas, se realiza el filtro para efecto del chequeo de la no dominancia y así obtener dos soluciones S_1 , S_2 no dominadas. Estas dos soluciones obtenidas, son

comparadas contra un par de individuos de Pr. Si resultan no dominadas, ocupan su lugar en Pr y se anexan a la malla adaptativa (si cumplen con el elitismo). Este ciclo se irá repitiendo según el número de iteraciones dado.

2.7.2. Funcionamiento de las fases del MAGMO

2.7.2.1. Memoria de población

Toscano, Coello (2001). La memoria de población (P) es generada inicialmente de forma aleatoria. Está dividida en dos partes: una porción reemplazable (Pr) y una no reemplazable (Pnr).

Se estableció de esta manera, con el fin de que el MAGMO no pierda diversidad, o bien, no converja hacia una porción única del frente de Pareto o hacia un frente de Pareto local.

Pnr a diferencia de Pr, no sufrirá cambios durante la corrida del algoritmo una vez inicializada. Esto hará que mantenga la diversidad requerida en el algoritmo.

La población de trabajo (Pt) es tomada de P (con cierta probabilidad), para que así resulte de una combinación de ambas partes de la memoria y no se permita un sesgo de la población hacia cierta región en el espacio de búsqueda, lo que dará la diversidad deseada a la población.

2.7.2.2. Cuerpo del MAGMO

Toscano, Coello (2001). La evolución de Pt por parte del MAGMO es realizada de manera tradicional, hasta que llegue a la convergencia nominal del proceso. En el caso de esta técnica la convergencia nominal está dada por el número de

generaciones máximas para el cuerpo del MAGMO. Se utilizan los operadores genéticos convencionales, mismos que se describen a continuación.

- Selección: Se emplea selección por torneo binario, utilizando dominancia como método de comparación. Su algoritmo es el siguiente:
 - Barajar los individuos de la población
 - Escoger n individuos (típicamente 2)
 - Compararlos con base en su aptitud
 - El ganador del torneo es el individuo más apto
 - Se debe barajar la población, hasta seleccionar N padres.
- Cruza: Se utiliza la cruce de N puntos en forma aleatoria.
- Mutación: Se utiliza mutación uniforme, lo que significa que el porcentaje de mutación utilizado no cambia a lo largo del proceso evolutivo.
- Elitismo: Solamente un individuo no dominado es arbitrariamente seleccionado de la población en cada generación y copiado intacto a la siguiente.

2.7.2.3. Filtro

Toscano, Coello (2001). Lugar donde se observa la condición elitista en la que se basó el desarrollo de la técnica. No solo deja pasar a los individuos no dominados S1 y S2 (si hay más de un individuo no dominado) hacia un archivo histórico, sino que también verifica si tomarán su lugar en la memoria reemplazable, dado que dominen a sus correspondientes alojadas en Pr. De

esta manera, P estará obteniendo una mejor oportunidad de converger hacia el frente de Pareto global.

También realiza otro tipo de elitismo sobre un cierto intervalo preestablecido. El ciclo de reemplazo toma soluciones no dominadas correspondientes a todas las regiones del frente de Pareto obtenido hasta el momento. Luego la memoria reemplazable es renovada con estos puntos. La diferencia entre el elitismo anterior y éste, es que el primero no garantiza que la memoria reemplazable tenga soluciones no dominadas globalmente y éste sí. Este segundo elitismo sólo se deberá aplicar en aquellas ocasiones en que los individuos del frente de Pareto sean al menos los mismos que en el conjunto Pr , pues de otra manera se puede llegar a una convergencia prematura.

2.7.2.4. Malla Adaptativa

Toscano, Coello (2001). Después de que el MAGMO haya terminado un ciclo, se escogen los individuos no dominados de la población final, y se comparan uno por uno contra el frente de Pareto actual alojado en la memoria externa, pudiéndose presentar uno de los siguientes casos:

- Si no hay individuos en el archivo externo, entonces la solución actual es aceptada.
- Si la nueva solución es dominada por algún individuo del archivo externo, será descartada.
- Si ninguno de los individuos del archivo externo lo domina entonces será almacenado y se eliminan a los individuos dominados.

- Si el archivo ha alcanzado el máximo de soluciones permitidas, se invoca a la malla adaptativa.

Para mantener diversidad en el frente de Pareto, se usa una malla adaptativa similar a la propuesta por Knowles y Corne. El propósito es poder mantener las soluciones no dominadas de una manera uniforme y distribuida a lo largo del frente de Pareto. Una vez que el archivo donde se guardan las soluciones llega a su límite, se dividen las soluciones no dominadas en diferentes regiones. De esta manera sólo se aceptarán individuos pertenecientes a regiones menos pobladas, o bien, pertenecientes a una región fuera de los límites previamente especificados para la malla.

La malla adaptativa es un espacio formado por hipercubos k-dimensionales, los cuales tienen tantas componentes como funciones objetivo k existan. Cada hipercubo es una región geográfica que puede contener un número no determinado de individuos. La cantidad de individuos trata de abarcar de manera uniforme la mayor cantidad de hipercubos posible.

2.8. FUNCIONES OBJETIVO

Para el diseño óptimo de redes de distribución de agua se han desarrollado trabajos donde se ha considerado dos funciones objetivos siendo las de minimización de costos y maximización de la confiabilidad de la red, más es necesario implementar una tercera función objetivo que mantenga las velocidades en el rango permisible; es por ello que en el presente trabajo se

toma en cuenta la implementación de tres objetivos, siendo la confiabilidad resiliente de la red, la minimización de costos y la confiabilidad cinemática.

2.8.1. Función objetivo de Costo

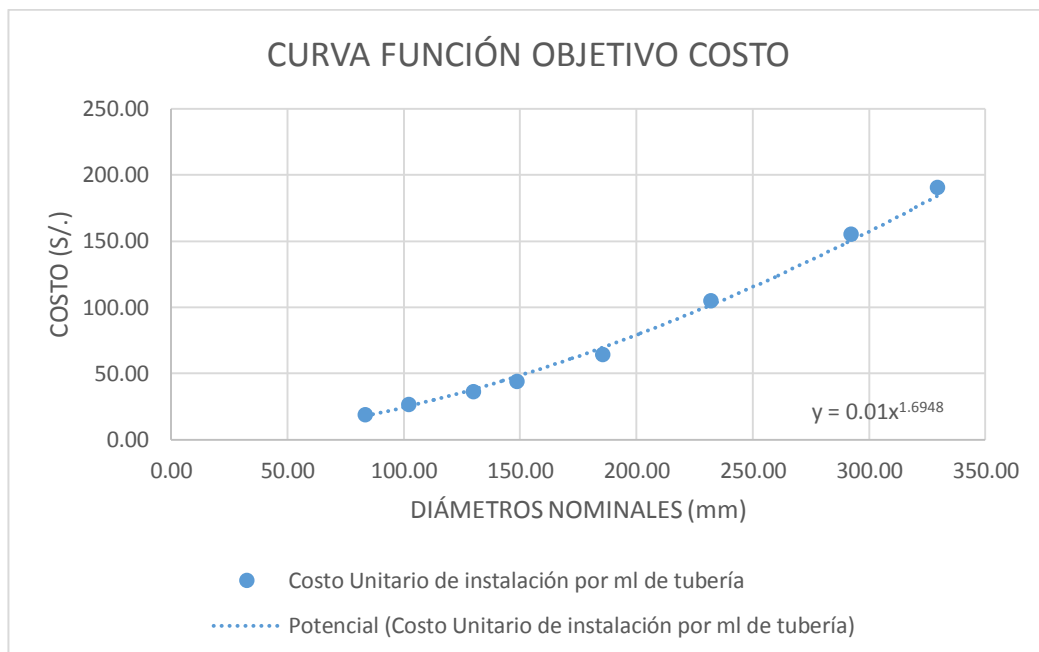
Saldarriaga, Mendoza (2004). El costo de una red de distribución, está determinado por el valor comercial de las tuberías y accesorios, el cual varía exponencialmente con el diámetro de la tubería, más su costo de instalación. Pudiendo expresarse una relación potencial respecto al diámetro, de la siguiente manera:

$$C_T = \sum_{i=1}^{nt} K_1 L_i D_i^{K_2}$$

Donde:

- C_T : Costo total de la red.
- L_i : Longitud de la tubería en particular.
- D_i : Diámetro de una tubería en particular.
- K_2 : Constante adimensional.
- K_1 : Constante en unidades monetarias. Se determinan por regresión considerando los costos de las tuberías de los diferentes diámetros.
- nt : Número de tuberías de la red.

De la curva de orden potencial se determinó la ecuación que define la función costo empleada para este estudio:



$$C_T = 0,01x^{1,6948}$$

Figura 10: Función objetivo de costo para tubería en función del diámetro comercial

2.8.2. Función objetivo de Confiabilidad Resiliente de la Red

La confiabilidad resiliente de la red considera el índice resiliencia y el índice de conectividad de la red.

2.8.2.1. Índice de Resiliencia (I_r)

Todini (2000), introdujo el concepto de resiliencia como una medida sustitutiva de confiabilidad de las redes. Está basado en la noción de que las pérdidas de energía interna incrementarán cuando la demanda incremente o cuando ocurran fallos en la tubería. Por lo tanto es deseable proporcionar más potencia en cada nodo, de modo que exista un superávit suficiente de potencia para ser disipado

internamente en caso de fallos en las tuberías o incrementos en la demanda. De este modo, el índice de resiliencia hace referencia a qué tanto excedente de energía hay en la red.

Matemáticamente está dado por la relación entre el superávit de potencia por unidad de peso que es proporcionado a la red y la máxima potencia por unidad de peso que podría ser disipada internamente por la red sin dejar de satisfacer la presión mínima.

- Deducción de la Fórmula

Se procederá a describir la conformación del índice de Resiliencia:

La potencia total disponible (P_{tot}) en una red de distribución de agua puede expresarse de la siguiente manera:

$$P_{tot} = \sum_{i=1}^{ne} Q_i H_i$$

Donde:

- Ne : Número de embalses.
- Qi : Caudal de entrada.
- Hi : Altura piezométrica de entrada.

También existe la siguiente relación para definir la Potencia total (P_{tot}):

$$P_{tot} = P_{dis} + P_{sal}$$

Donde:

- Pdis : Potencia disipada en las tuberías.
- Psal : Potencia entregada a los usuarios en cada uno de los nodos.

La potencia entregada a los usuarios en cada uno de los nodos (P_{sal}), puede ser la ideal (P_{sal}^*) o la real (P_{sal}). Por lo tanto, para la ideal tenemos:

$$P_{sal}^* = \sum_{j=1}^{nu} Q_j H_j^*$$

Donde:

- nu : Número de uniones (nodos).
- Q_j : Caudal que demanda cada nodo.
- H_j^* : Presión mínima requerida en cada nodo.

Teniéndose las definiciones anteriores se puede tener:

$$P_{dis} = P_{tot} - P_{sal} = P_{tot} - \sum_{j=1}^{nu} Q_j H_j$$

$$P_{dis}^* = P_{tot} - P_{sal}^* = P_{tot} - \sum_{j=1}^{nu} Q_j H_j^*$$

Se puede notar que la diferencia entre P_{dis} y P_{dis}^* es que en la primera se usan presiones realidad y en la segunda las presiones ideales o mínimas.

Según lo indicado, se define el índice de Resiliencia (I_R) como:

$$I_R = 1 - \frac{P_{dis}}{P_{dis}^*}$$

Teniéndose en cuenta las definiciones de P_{dis} y P_{dis}^* , Podemos finalmente reescribir el I_R como:

$$I_R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{ne} Q_i H_i - \sum_{j=1}^{nu} Q_j H_j}{\sum_{i=1}^{ne} Q_i H_i - \sum_{j=1}^{nu} Q_j H_j^*} = \frac{\sum_{j=1}^{nu} Q_j (H_j - H_j^*)}{\sum_{i=1}^{ne} Q_e H_e - \sum_{j=1}^{nu} Q_j H_j^*}$$

Donde:

- ne : Número de embalses.

- Q_e : Caudal suministrada por el embalse i.
- H_e : Altura piezométrica del embalse i.

2.8.2.2. Coeficiente de conectividad en la Red de Distribución de Agua (CJ)

Prasad, Park (2004). Las redes de distribución de agua con circuitos, son más confiables y más prácticas si los diámetros de las tuberías conectadas a un nodo no varían ampliamente. Si se tienen los diámetros D_1 , D_2 , D_3 (Donde $D_1 \geq D_2 \geq D_3$) son los diámetros de tres tuberías conectadas a un nodo denominado j, el coeficiente de conectividad que expresa la uniformidad en cuanto a las conexiones en ese nodo, está dado por la siguiente ecuación:

$$c_j = \frac{(D_1 + D_2 + D_3)}{3D_1}$$

Y en forma generalizada se tiene:

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^{NT_j} D_i}{NT_j \times \max\{D_i\}}$$

Donde:

- NT_j : Es el número de tuberías conectadas al nodo j.
- D_i : i-ésimo diámetro conectado al nodo j.

El valor de C_j es igual a uno ($C_j = 1$) cuando las tuberías conectadas a un nodo tienen el mismo diámetro, o si tan solo una tubería se conecta al nodo. El valor C_j será menor que uno ($C_j < 1$) si las tuberías conectadas a un nodo presentan diámetros diferentes. El objetivo entonces es propender por valores de C_j iguales o cercanos a uno. Esto con el fin de evitar conexiones poco prácticas (por ejemplo una tubería de 10 pulgadas conectada a una de 2 pulgadas). Con base

al coeficiente de conectividad, el índice de Resiliencia puede reescribirse de la siguiente forma:

$$I_R'' = \frac{\sum_{j=1}^{nu} C_j Q_j (H_j - H_j^*)}{\sum_{i=1}^{ne} Q_e H_e - \sum_{j=1}^{nu} Q_j H_j^*}$$

2.8.3. Función objetivo de Confiabilidad Cinemática

Función relativa al movimiento del fluido transportado por las tuberías (agua potable). Parte de la necesidad de seleccionar redes que mantengan las velocidades de circulación de todas las tuberías dentro de un rango preestablecido teniendo como parámetros limitantes los señalados en las normas locales RNE 050.

- Vmin: 0,6 m/s
- Vmax: 3,0 – 5,0 m/s

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. ELABORACIÓN DEL SOFTWARE DE APOYO PARA EL DISEÑO ÓPTIMO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

El diseño óptimo de redes de distribución de agua, consiste en la búsqueda de las combinaciones de diámetros de cada una de las tuberías que conforman la red, de tal manera que cumpla con ser el mejor grupo de respuestas para una serie de objetivos buscados, además de cumplir las restricciones propuestas.

El presente trabajo de investigación busca el diseño óptimo basado en tres funciones objetivos, las cuales son: máxima confiabilidad resiliente de la red, mínimo costo y máxima confiabilidad cinemática. Asimismo se busca la implementación de dos tipos de restricciones: presión mínima y límites de velocidad permisibles.

Los algoritmos genéticos son uno de los métodos que permiten la solución de problemas mediante un proceso evolutivo, el cual ya era conocido con mucha anterioridad (Darwin 1859), pero no era posible emplearse debido a la necesidad de una gran cantidad de cálculos que permitan modelar una población inicial y las generaciones descendientes.

Es así que se ha diseñado un software usando el lenguaje de programación de Java; el cual es un lenguaje libre orientado a objetos simple, seguro, robusto, dinámico, basado en clases; que permite apoyar los cálculos y lograr el diseño óptimo, el cual se ha denominado MAGMO REDES. Esta herramienta se basa en los siguientes tres módulos:

- Método de la Gradiente: Comprende la elaboración de un motor de cálculo, el cual permite en base a la estructura de sus genes (diámetros) de cada individuo, obtener sus características hidráulicas para un entorno ya definido (topología, caudales de consumo, fuentes de agua, entre otros). Este proceso permitirá la obtención de los datos necesarios para el cálculo de las funciones objetivos. Así mismo proporcionará el número de restricciones incumplidas.
- Funciones Objetivo: Comprende la representación de las características que se buscan en una red, reflejado en tres objetivos tales como: la confiabilidad resiliente de la red, menor costo de la red y la confiabilidad cinemática. El cálculo de las funciones se basa en los resultados obtenidos del módulo Método de la Gradiente.
- Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo (MAGMO): Permite generar poblaciones descendientes optimizadas en sus funciones objetivos y obtener respuestas que cumplan con las restricciones impuestas. Para la obtención de los datos a evaluar emplea los dos módulos descritos anteriormente.

3.1.1. Método del Gradiente

El método del gradiente realiza el cálculo hidráulico de una red de agua, en base a las propiedades hidráulicas, las mismas que debes ser ingresadas al programa, siendo los datos necesarios:

- **Nodos:** Los nodos de la red modelan los puntos extremos de un tramo de tubería, los cuales tienen las siguientes propiedades:

Cuadro 3: Propiedades de los nodos

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ID	-	Número entero de identificación.
Etiqueta	-	Etiqueta de descripción del nodo.
Cota	[metros]	Nivel del terreno en el nodo.
Caudal de Consumo	[litros por segundo]	Caudal de consumo del nodo.
X	[Adimensional]	Coordenada X para su representación en la interfaz gráfica de dibujo.
Y	[Adimensional]	Coordenada Y para su representación en la interfaz gráfica de dibujo.

- Tuberías: El modelado de las tuberías, se refiere a la unión de tramos nodo – nodo, nodo – reservorio. Las tuberías tienen las siguientes propiedades:

Cuadro 4: Propiedades de las tuberías

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ID	-	Número entero de identificación de la tubería.
Etiqueta	-	Etiqueta de descripción de la tubería.
Nodo Inicial	-	ID del Nodo/Reservorio Inicial de la tubería. El ID es un valor positivo para hacer referencia a un Nodo y negativo para hacer referencia a un Reservorio.
Nodo Final	-	ID del Nodo/Reservorio Final de la tubería. El ID es un valor positivo para hacer referencia a un Nodo y negativo para hacer referencia a un Reservorio.
Longitud	[metros]	Longitud real de la tubería entre el tramo Nodo – Nodo o Reservorio – Nodo.
Diámetro	[milímetros]	Diámetro interno de la tubería en el tramo respectivo.
Coeficiente de Rugosidad cinemática	[mm]	Coeficiente de rugosidad cinemática de la tubería en el tramo respectivo.

- Reservorios: Son la fuente de agua, y quienes dan la carga hidráulica inicial a la red. Tienen las siguientes propiedades:

Cuadro 5: Propiedades de las Reservorios

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ID	-	Número entero de identificación del Reservoirio.
Etiqueta	-	Etiqueta de descripción del Reservoirio.
Cota	[metros]	Nivel del terreno donde se ubica el Reservoirio.
Altura de Agua	[metro de columna de agua]	Nivel Mínimo de la altura de agua del Reservoirio.
X	[Adimensional]	Coordenada X para su representación en la interfaz gráfica de dibujo.
Y	[Adimensional]	Coordenada Y para su representación en la interfaz gráfica de dibujo.

- Válvulas reductoras de presión (VRP): su modelamiento permite representar la disminución de la línea de gradiente hidráulico en un valor definido, ante altas presiones de servicio. Tiene las siguientes propiedades:

Cuadro 6: Propiedades de las Válvulas

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ID	-	Número entero de identificación del Reservorio.
Etiqueta	-	Etiqueta de descripción del Reservorio.
Tubería	-	ID de la tubería donde se encuentra ubicada la VRP
Reducción de Presión	[metro de columna de agua]	Nivel Mínimo de la altura de agua del Reservorio.

Además de los datos mencionados para el modelamiento, es requerida la siguiente información:

Cuadro 7: Datos requeridos para el modelamiento

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Tolerancia de error	[Adimensional]	Valor del error mínimo tolerable en los procesos de cálculo.
Restricciones: Presión mínima	[metros de columna de agua]	Presión mínima aceptable en los nodos.
Restricciones: Velocidad mínima	[metros por segundo]	Velocidad mínima aceptable en las tuberías.
Restricciones: Velocidad máxima	[metros por segundo]	Velocidad máxima aceptable en las tuberías.

Con los datos para el modelamiento, se inicializa el proceso de cálculo, el cual tiene los siguientes procesos:

- Se realiza la formulación matricial de los datos ingresados.
- Se realiza la construcción del resto de matrices que requieren de cálculos basados en las matrices de los datos ingresados.
- Las matrices principales de este tipo son la A_{11} y A_{11}' (matriz diagonal de $NT \times NT$), que representan los coeficientes de rugosidad de cada tubería para los valores en los caudales en circulación de cada tubería en la iteración respectiva.
- Estas matrices irán variando en cada iteración debido a la variación de los caudales en las tuberías, hasta que estos cumplan la tolerancia de error definida.
- Para el cálculo de estos coeficientes, se hace uso de las ecuaciones de Darcy – Weisbach para la pérdida de carga por fricción en las tuberías y la ecuación de Colebrook – White que permite calcular el factor de fricción de Darcy. Un punto importante es la diferenciación del tipo de flujo presente en cada iteración en la tubería, debido a que ante flujos laminares la ecuación del factor de fricción varía, por tanto en las tuberías que presenten un número de Reynolds cercano a cero, generado por bajas velocidades y caudales respecto al diámetro y tipo de material de la tubería, no se tendría una convergencia en el proceso iterativo del cálculo del factor de fricción de Darcy.

- Una vez conformadas todas las matrices necesarias, se inicia el proceso iterativo mediante el cálculo de las ecuaciones matriciales respectivas. En cada iteración se realiza el recálculo de las matriz A11 y A11'
- Una vez que los caudales converjan y cumplan la tolerancia de error, se procede al cálculo del resto de características tales como: las presiones en los nodos, las velocidades en las tuberías, entre otros. Además se contabiliza el número de restricciones incumplidas de presiones y velocidades.

3.1.1.1. Justificación de la validez del software magmoredes

Para mostrar la validez de los resultados obtenidos utilizando el software MAGMOREDES, es que se procede a modelar una red ejemplo con referencia al libro de Saldarriaga (2007 - pag.421) con la aplicación del Método del Gradiente. El procedimiento y los resultados se consignan en el Anexo N°02.

3.1.2. Funciones Objetivo

El módulo de cálculo de objetivos, permite la obtención de tres funciones que caracterizan la confiabilidad de la red, el costo y su confiabilidad cinemática. Recibe como parámetros los valores calculados por el módulo Método del Gradiente y los propiamente necesarios.

Para la mejor representación y entendimiento de las tres funciones objetivo en su optimización a través del MAGMO, se han realizado las modificaciones necesarias a fin de que los mínimos valores de cada función representen los

mejores valores. Lo que permitirá plantear al MAGMO un problema de minimización en tres funciones.

Las consideraciones y procedimiento para su cálculo se describen a continuación:

3.1.2.1. Confiabilidad resiliente de la red

Para la el cálculo del coeficiente que represente la confiabilidad resiliente de la red, se requiere los datos mostrados en el Cuadro 8:

El procesamiento de cálculo del coeficiente se describe a continuación:

- Se ingresan todos los datos anteriormente descritos.
- Se procede al cálculo de la confiabilidad geométrica de la red, la cual es la relación de variedad de diámetros que convergen en cada nodo
- Se calcula la carga hidráulica disponible sobre el nivel mínimo de presión aceptable.
- Una vez obtenido los componentes de la ecuación de confiabilidad de la red, se procede al cálculo respectivo.
- La confiabilidad resiliente de la red tiene un valor entre -1,00 y 1,00, siendo el mejor valor los valores que tiendan a 1,00 o sean igual a él. Los valores negativos representan que se ha tenido una cantidad de cargas hidráulicas negativas muy superior a las positivas.
- Para el mejor entendimiento de los resultados del diseño óptimo mediante el MAGMO, se ha invertido la representación del coeficiente de confiabilidad resiliente de la red, mediante la siguiente relación:

$$\textit{Confiabilidad resiliente de la Red}' = 1 - \textit{Confiabilidad resiliente de la red}$$

Lo cual genera que los valores mínimos que tiendan a 0,00 o sean igual a él, representen mejor confiabilidad resiliente de la red.

Los valores que en un inicio son negativos (<0,00) serán penalizados con el valor que representaría la menor confiabilidad resiliente (1,00).

Cuadro 8: Datos para el cálculo del coeficiente de confiabilidad de la Red

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Número de Tuberías	-	Números de las tuberías modeladas en la red.
Diámetros de las Tuberías	[milímetros]	Diámetros internos de las tuberías de la red.
Número de Nodos	-	Número de nodos modelados en la red.
Altura piezométrica en los Nodos	[metro de columna de agua]	Altura piezométrica calculada en la red modelada.
Cotas en los Nodos	[metros]	Cotas topográficas de los nodos modelados en la red.
Caudales de consumos en los Nodos	[litros por segundo]	Caudales de consumo en los nodos modelados en la red.
Presión mínima	[metro de columna de agua]	Presión mínima de confiabilidad admitida en cada nodo modelado en la red.
Número de Reservorios	-	Número de reservorios modelados en la red.

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Altura Piezométrica en los Reservorios	[metro de columna de agua]	Altura Piezométrica de los Reservorios modelados en la red.
Caudales de salida en los Reservorios	[litros por segundo]	Caudales de salida de cada reservorios modelado en la red.
MatrizA12	-	Matriz que representan la relación de las conexiones existentes de nodo – nodo o reservorio – nodo.

3.1.2.2. Costo de la Red

El costo de la red es posible estimarse en base a dos formas:

- Estimación del costo de acuerdo a la sumatoria de los valores de cada tubería calculadas en base a su longitud y costo por metro lineal dependiendo del diámetro. Para lo cual deberá ingresarse dichos costos.
- Estimación del costo en base a una ecuación de costo.
- La ecuación de costo es aplicable a cada tramo de tubería y depende de dos coeficientes que conforman la ecuación y del diámetro presente en el tramo.

Lo que se busca es el menor costo de la red, pero para un mejor entendimiento y representación de este objetivo es que es necesario generar límites mínimos y máximos. Por lo que se procede al cálculo del costo mínimo de la red, asignando

a todos los tramos de tubería el diámetro mínimo existente en el universo de diámetros; y el costo máximo asignando a todos los tramos de tuberías el diámetro máximo existente en el universo de diámetros.

3.1.2.3. Confiabilidad Cinemática

La confiabilidad cinemática representa el cumplimiento de los límites de velocidad, representando por un coeficiente que va desde 0,00 hasta 1,00, siendo 0,00 el valor que representa la mejor confiabilidad cinemática y 1,00 el de la peor confiabilidad cinemática. La forma representación, siendo el valor mínimo el mejor, responde al fin de realizar un mejor entendimiento de los resultados del diseño óptimo mediante el MAGMO.

Los límites de velocidad que se tienen en cuenta para su formulación son:

Cuadro 9: Límites de velocidad consideradas en la función Confiabilidad Cinemática

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Velocidad Mínima	[metros por segundo]	Velocidad mínima aceptable en las tuberías. Según el RNE Norma OS 050 tiene un valor de 0,6 m/s.
Velocidad Máxima Recomendable	[metros por segundo]	Velocidad máxima recomendable en las tuberías. Según el RNE Norma OS 050 tiene un valor de 3,0 m/s.
Velocidad Máxima Admitida	[metros por segundo]	Velocidad mínima aceptable en las tuberías. Según el RNE Norma OS 050 tiene un valor de 5,0 m/s.

Definidos los límites de velocidad, el procedimiento de cálculo de este objetivo inicia dándose una valoración a cada tubería de acuerdo al valor de velocidad que tiene, según los límites definidos señalados en el Cuadro 10.

Por lo tanto los tramos de tuberías cuyas velocidades se encuentren dentro de la velocidad mínima y máxima recomendable tendrán el coeficiente de 0,00; que representan la mejor confiabilidad. Los tramos de tuberías con velocidades comprendidas entre los límites de velocidad máxima recomendable y máxima admitida tendrán el coeficiente de 0,50, los tramos de tuberías que estén por debajo de la velocidad mínima y por encima de la velocidad máxima admitida serán penalizados con el valor de 1,00.

La sumatoria de todos los coeficientes de los tramos de tuberías divididos entre el número de tuberías, permite obtener el coeficiente final que representa la confiabilidad cinemática de la red.

Cuadro 10: Valoración de la velocidad para la función de Confiabilidad Cinemática

LÍMITE	VALOR DE CONFIABILIDAD DE LA TUBERÍA
$0 < V_t < V_{min}$	0,00
$V_{min} < V_t < V_{max \text{ rec}}$	1,00
$V_{max \text{ rec}} < V_t < V_{max \text{ Adm}}$	0,50
$V_{max \text{ Adm}} < V_t$	0,00
Donde: <ul style="list-style-type: none"> • V_t: Velocidad en la tubería • V_{min}: Velocidad mínima en la tubería • $V_{max \text{ rec}}$: Velocidad máxima recomendable • $V_{max \text{ adm}}$: Velocidad máxima admitida 	

3.1.3. Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo (MAGMO)

La aplicación del Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo en el presente trabajo, basa su funcionamiento en cuatro aspectos:

- La Memoria de Población.
- Los Ciclos de Micro Algoritmos Genéticos Multiobjetivo.
- El Filtro
- La Memoria Externa.

Se requiere de los siguientes datos generales iniciales para su proceso:

Cuadro 11: Datos iniciales para el desarrollo del MAGMO

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
Número de generaciones	Número que determinará la cantidad de iteraciones a considerar en el MAGMO.
Número de genes de los pobladores	Cantidad de tuberías de la red de distribución de agua.
Porcentaje de la población no reemplazable	Determinará la cantidad de población no reemplazable seleccionada aleatoriamente de la población total.
Tamaño de la población no reemplazable	Se determina con la multiplicación del porcentaje de población no reemplazable ingresada de la población total.
Tamaño de la población reemplazable	Se obtiene de la diferencia de la población total y la población no reemplazable.

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
Tamaño de la memoria externa	Número máximo de pobladores que conforman el Óptimo de Pareto, siempre y cuando cumpla las restricciones impuestas.
Número de divisiones para la malla adaptativa – Objetivo 01	Número de divisiones que conformará el hipercubo para el Objetivo 01
Número de divisiones para la malla adaptativa – Objetivo 02	Número de divisiones que conformará el hipercubo para el Objetivo 02
Número de divisiones para la malla adaptativa – Objetivo 03	Número de divisiones que conformará el hipercubo para el Objetivo 03
Universo de diámetros	Diámetros que serán considerados para el análisis del diseño de las tuberías

Además, requiere de los parámetros referentes a cada función objetivo y restricciones.

3.1.3.1. La Memoria de Población

Es necesario inicializar la población mediante la generación de pobladores. Cada poblador es generado mediante la elección aleatoria de diámetros para cada tramo de tubería; los diámetros disponibles para ser elegidos son lo que se han definido previamente en el universo de diámetros.

La generación de pobladores aleatoria se realiza solo por primera vez, la cual es insertada en la memoria de población, y está dividida en dos partes: la memoria de población reemplazable (MPR) y la memoria de población no reemplazable

(MPNR). El número de individuos para cada población es definido dentro de los parámetros de inicialización del MAGMO.

Además, para cada poblador generado se realiza el cálculo de sus características hidráulicas mediante el Método del Gradiente, también de sus objetivos y número de restricciones mediante el módulo respectivo. Dichos valores son almacenados como propiedades de cada poblador para usarlos directamente en los procesos siguientes y no realizar repetitivamente el proceso de cálculo (principalmente el módulo del Método del Gradiente).

La memoria de población solo permitirá la inserción de nuevos pobladores en la memoria de población reemplazable mediante la sustitución de un poblador existente, cuando se cumpla la condición de que el postulante a ingresar domine al poblador existente.

La población no reemplazable irá siendo modificada continuamente, de acuerdo a los pobladores que vaya evolucionando los ciclos de micro algoritmos genéticos multiobjetivo.

3.1.3.2. Los Ciclos de Micro Algoritmos Genéticos Multiobjetivo

Un ciclo de MAGMO, está compuesto por el siguiente proceso:

- Población Inicial

Un ciclo de MAGMO se inicializa eligiendo cuatro pobladores al azar de la memoria de población, siendo la elección indistinta de si pertenece a la MPR o MPNR. Formando así a la población inicial, que será sometida a los operadores genéticos (selección, cruza, mutación y elitismo)

- Selección

Una vez determinado los cuatro individuos, se procede a la selección de los dos padres mediante la metodología de torneo, en la cual los pobladores se dividen en dos pares y cada par es sometido a contienda. El ganador de cada torneo es determinado en primera instancia de acuerdo al número de restricciones incumplidas respecto a los límites de presión mínima, velocidad mínima y máxima, siendo ganador el que tenga menor número de incumplimientos. En caso ambos tengan el mismo número de incumplimientos de restricciones, se pasa a una segunda instancia donde el ganador se define en base al criterio de dominancia, la dominancia es verificada de acuerdo a sus tres objetivos. Si no se puede determinar la dominancia de uno sobre otro, se elegirá al azar a uno de ellos como ganador del torneo. Del operador genético de selección resultan dos pobladores padres.

- Cruza

Los dos padres resultantes anteriormente, son sometidos al operador genético de cruza para la obtención de dos hijos. El proceso para la obtención de un hijo consiste en la combinación de sus genes (diámetros de cada tramo de tubería), el método que se ha empleado es la combinación de N puntos aleatoria, donde para cada tramo se obtiene un número al azar que determina si se heredará el diámetro del Padre N° 01 o el Padre N° 02. El proceso del operador genético se repite para la obtención de los dos hijos.

- Mutación

Completado el operador genético de Cruza, ambos hijos resultantes serán sometidos al operador genético de mutación, el cual consiste en la probabilidad

de cambio aleatorio en uno de sus genes, lo que representa que el diámetro de uno de los tramos de tubería cambiará a otro de los que se encuentra en el universo de diámetros definidos.

- **Elitismo**

Los hijos luego de ser afectados por el operador genético de mutación, son sometidos al de Elitismo, el cual determina la dominancia entre los hijos, siendo necesario para ello primero el cálculo de sus características mediante el módulo del método del gradiente (también se determina las restricciones que si bien no serán evaluadas en el presente operador genético, servirán para el proceso de memoria externa) y segundo el cálculo de sus objetivos mediante el módulo funciones objetivos.

Con los parámetros hallados se verifica la dominancia, es así que si uno de los hijos domina al otro, el dominado es eliminado, teniéndose como respuesta al dominante; en caso no se pueda determinar la dominancia de uno sobre otro, ambos se darán como respuestas del ciclo del micro algoritmo genético multiobjetivo y pasarán a los procesos de Filtro y Memoria Externa.

3.1.3.3. El Filtro

El proceso de filtro realiza la evaluación de la inserción de las respuestas en la memoria de población reemplazable, mediante la metodología de torneo con un poblador elegido aleatoriamente de la MPR, dicho poblador original solo es reemplazado en caso se cumpla el criterio de dominancia para los tres objetivos. Para tal efecto no se tiene en cuenta la evaluación del cumplimiento de las

restricciones, con el objetivo de poder dar la oportunidad de seguir evolucionando.

3.1.3.4. La Memoria Externa

El proceso de memoria externa permite el almacenado de las respuestas correspondientes al óptimo de Pareto y solo si cumplen con las restricciones impuestas. La memoria Externa posee un límite de tamaño, el cual es determinado en los parámetros iniciales, así mismo estará compuesto por hipercubos de 3 dimensiones, determinados por el número de divisiones indicadas como parámetros iniciales. Una vez concluido el proceso de guardado de las respuestas que conforman el óptimo de Pareto, se volverá a iniciar desde el proceso del ciclo de micro algoritmo genético multiobjetivo en un número de generaciones determinado en los parámetros iniciales.

3.2. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR DE ESTUDIO

- UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El sector de estudio está ubicado dentro de la jurisdicción del Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Provincia de Tacna, aproximadamente entre los 395 y 495 msnm. En un espacio con topografía llana con pendiente promedio de 2,5% orientada de sur a norte.

- LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

- País : Perú
- Región : Tacna
- Provincia : Tacna

- Distrito : Gregorio Albarracín Lanchipa
- Sector : Pampas de Viñani

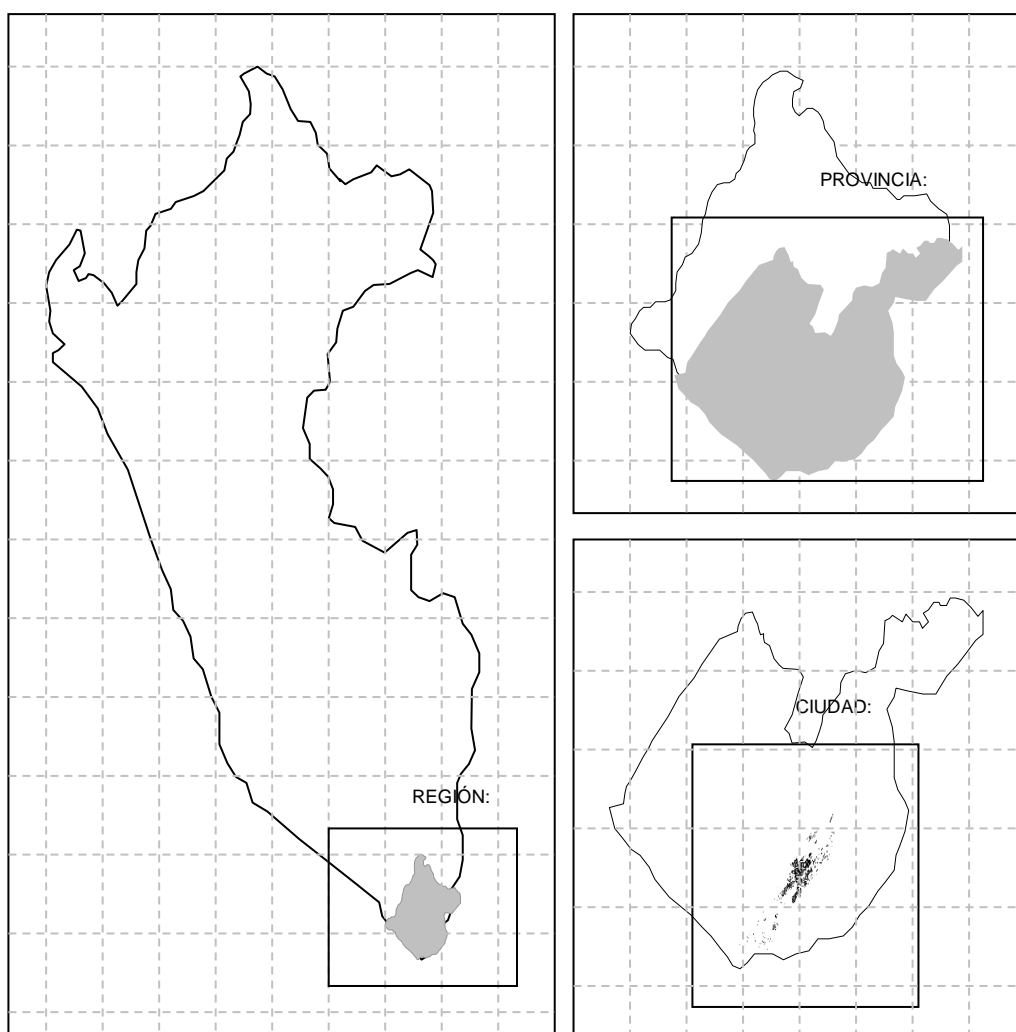


Figura 11: Esquema de Macrolocalización de Viñani

Fuente: Municipalidad Provincial de Tacna (MPT). Área de Estudios

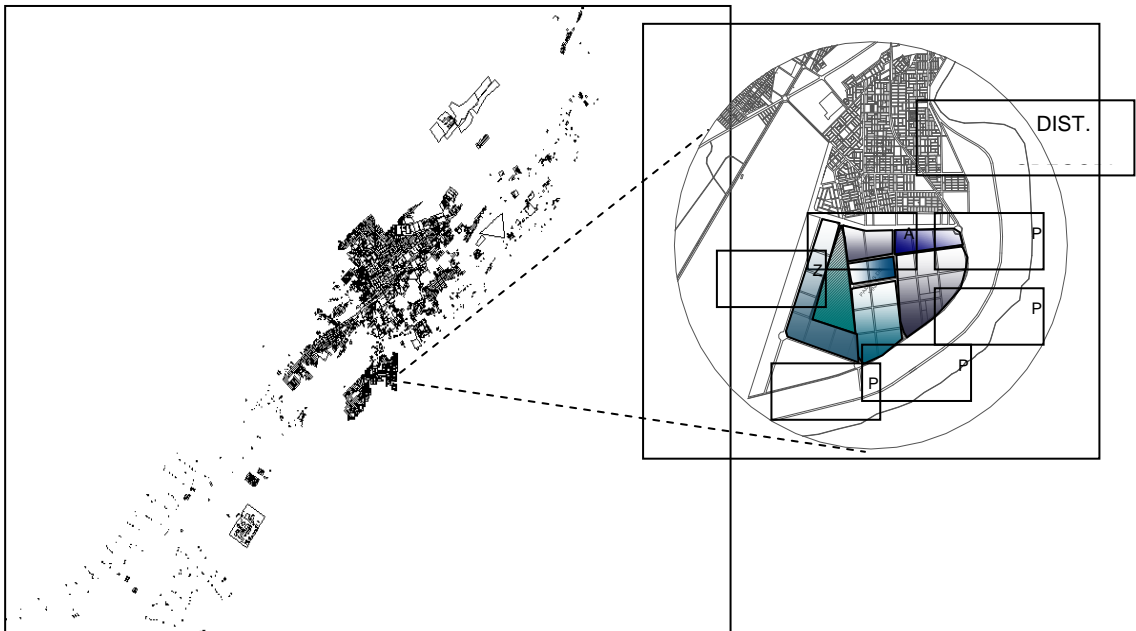
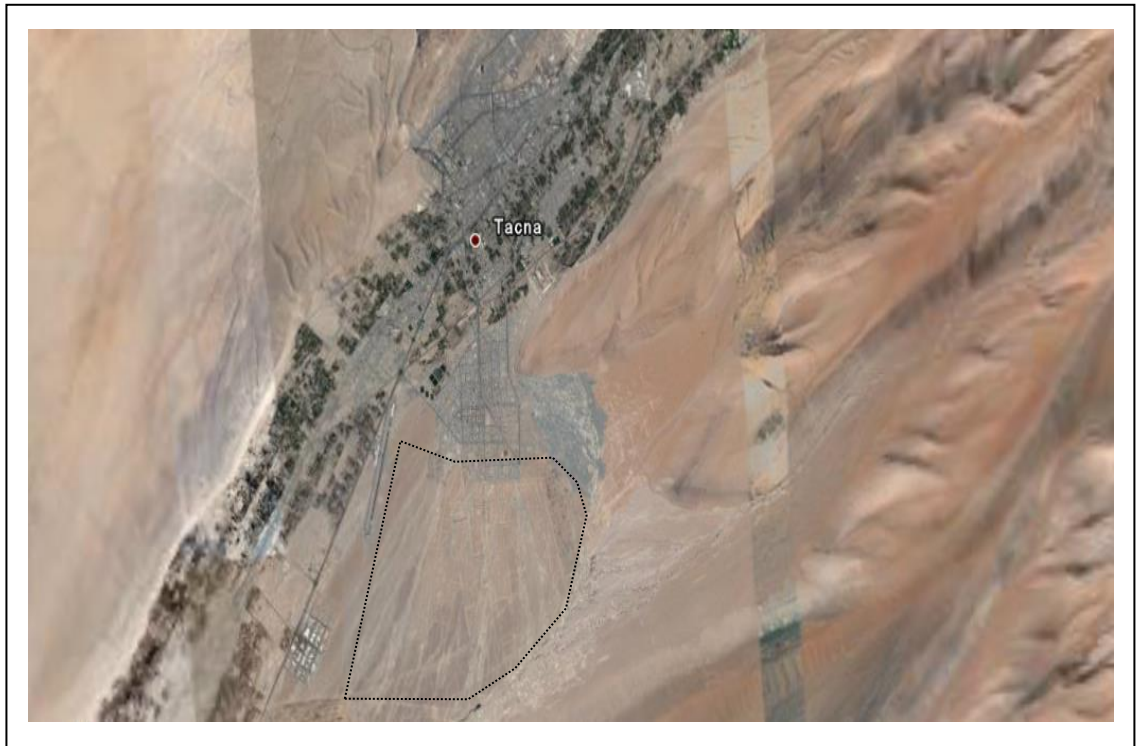


Figura 12: Esquema de Micro localización de Viñani
Fuente: Municipalidad Provincial de Tacna (MPT). Área de estudios

- LIMITES DEL ÁREA DE ESTUDIO
 - Por el norte: Con el Cerro Arunta y la Asociación Vista Alegre.
 - Por el sur: Pozos del Proyecto Especial Tacna.
 - Por el este: Con la Granja Viñani y Cerro Arunta.
 - Por el oeste: Con el Aeropuerto y ZOFRA Tacna.

- TOPOGRAFÍA

Tiene una topografía plana y regular con pendiente suave de un 5% de promedio con dirección Norte-Sur. Su zonificación es de R3-R5, lo que permite la construcción de edificaciones de media y alta densidad.

- SUPERFICIE

El sector de estudio tiene un área de 5,07 Km² (507,12 ha), habilitada bajo tipología R-3 de tipo urbanístico unifamiliar.

Cuadro 12: Superficie Asignada por Promuvi y documento de asignación

Denominación	Superficie (m ²)	Documento Asignación
I Etapa	459 261,41	Resolución de Alcaldía N° 0637-03
Ampliación I Etapa	1 131 578,31	Resolución de Alcaldía N° 0497-04
II Etapa	1 601 474,18	Resolución de Alcaldía N° 0121-04
III Etapa	1 014 042,06	Resolución de Alcaldía N° 0165-04
IV Etapa	864 859,66	Resolución de Alcaldía N° 0220-04

Fuente: Municipalidad de Tacna

- SUELOS

Según literatura existen tres (03) tipos de suelo:

- Tipo A: Que es seguro por ser fuerte y compacto
- Tipo B: Que es inestable, denominado Zona Roja.
- Tipo C: Que es inestable, denominado Zona Roja.

En las Pampas de Viñani, el suelo es de Tipo A, con topografía plana con una pendiente promedio de 2,5%, por consiguiente es adecuada para la construcción de las viviendas y la seguridad a sus habitantes.

A resaltar finalmente que el perfil estratigráfico del suelo dicha zona está conformado por un relleno de cultivo; arenas, arcilla, limos orgánicos, en una capa no mayor de 0,50 m., debajo de la cual se encuentra un estrato de suelo granular con un espesor indeterminado. Este tipo de suelo ofrece las mejores condiciones de cimentación, pues poseen una capacidad portante mayor de 3 kg/cm².

- CLIMA

Las Pampas de Viñani tienen un macro-clima parecido al clima de Tacna, es decir en verano es cálido y en invierno es de templado a frío. El clima es árido típico de las zonas desérticas, variando a cálido en Verano y Frío en Invierno.

- Temperatura promedio: 12° a 26° C
- Presión atmosférica: Es de 955 milibares

3.3. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

3.3.1. Cálculo de la Población de Diseño

En el año 2006 se realizó una encuesta socioeconómica aplicada en el Sector Viñani; encontrándose que sólo el 26,42% de las viviendas presenta una ocupación real. Por tanto la ocupación proyectada por cada una de las zonas definidas como beneficiarias del proyecto se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 13: Nivel de ocupabilidad proyectada de lotes por Etapa

Etapa	Lotes Disponible	Lotes Ocupados	% Ocupación Real	Población Proyectada
I Etapa	1,052	750	71,30	3 450
Ampliación I Etapa	2 013	862	42,80	3 963
II Etapa	4 336	1 084	25,00	4 986
III Etapa	3 240	505	15,60	2 325
IV Etapa	2 327	225	9,69	1 037
Total	12 968	3 427	26,42	15 761

Fuente: Encuesta socio-económica aplicada en la zona (2006)

Considerando los resultados de la encuesta antes citada se estableció que aproximadamente 15 761 personas habitan la zona (para ello se calculó el producto del total de lotes detectados como ocupados y el ratio de 4,6 personas por vivienda que existe según PROGIAS en la ciudad de Tacna)

Asimismo, el Puesto de Salud Viñani, en torno a sus registros poblacionales ha determinado una tasa de crecimiento anual poblacional de hasta 7%, valor evidentemente superior al promedio de la ciudad pero que puede ser explicado por ser Viñani el sector que configura la mayor movilización de población y espacio de expansión urbana del distrito y de toda la ciudad de Tacna

La densidad poblacional de la zona para el año 2006 alcanzó los 24,53 habitantes/ha. valor por debajo de los indicadores a nivel provincial (31,66 habitantes/ha.) y distrital (150,43 habitantes/ha.)

Por ello, se estableció que la tasa de crecimiento sea mantenida hasta que la densidad poblacional en la zona se duplique (lo que se alcanza en el año 10 del horizonte del proyecto); a partir de ello, se determinó una contracción de la tasa de crecimiento hasta un 5% anual, lo que se mantiene hasta el año 15 del proyecto en que la tasa de crecimiento se redujo hasta alcanzar los valores de la ciudad (2,7%) para el año 2006. Con estos datos, la población proyectada para la zona es la mostrada en el Cuadro 14.

Por tanto, para el desarrollo de la tesis se trabajó con la población proyectada del Cuadro 14; mas existiendo un discernimiento con los datos mostrados es que también se procedió a hacer un análisis para una población proyectada tomando en cuenta la justificación anterior analizada correctamente. (Ver página 117).

Cuadro 14: Proyección de la Población en el Sector Viñani

Año		Población	Nº Viviendas	Densidad (hab/ha)	Tasa de Crecimiento
-	2 006	15 761	3 427	24 ,53	
1	2 007	16 864	3 666	26 ,25	7 ,00
2	2 008	17 949	3 902	27 ,94	6 ,44
3	2 009	19 011	4 133	29 ,59	5 ,92
4	2 010	20 045	4 358	31 ,20	5 ,44
5	2 011	21 047	4 575	32 ,76	5 ,00
6	2 012	21 977	4 778	34 ,21	4 ,42
7	2 013	22 836	4 964	35 ,55	3 ,91
8	2 014	23 625	5 136	36 ,77	3 ,45
9	2 015	24 347	5 293	37 ,90	3 ,05
10	2 016	25 004	5 436	38 ,92	2 ,70
11	2 017	25 679	5 582	39 ,97	2 ,70
12	2 018	26 372	5 733	41 ,05	2 ,70
13	2 019	27 084	5 888	42 ,16	2 ,70
14	2 020	27 815	6 047	43 ,30	2 ,70
15	2 021	28 566	6 210	44 ,46	2 ,70
16	2 022	29 337	6 378	45 ,66	2 ,70
17	2 023	30 129	6 550	46 ,90	2 ,70
18	2 024	30 942	6 727	48 ,16	2 ,70
19	2 025	31 777	6 908	49 ,46	2 ,70
20	2 026	32 635	7 095	50 ,80	2 ,70

Fuente: Expediente Técnico Instalación de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado
en las Pampas de Viñani – Tacna.

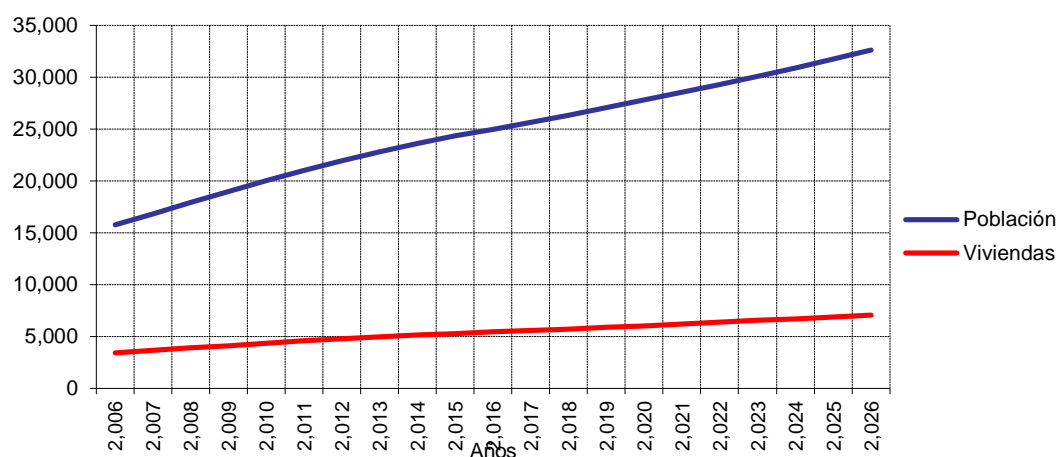


Figura 13: Proyección de la población y viviendas en la zona de Influencia del Proyecto.
Fuente: Exp. Técnico Instalación de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado en las Pampas de Viñani – Tacna.

3.3.2. Cálculo del Caudal de Diseño

Se determinó el caudal de diseño para la población proyectada, teniendo en consideración lo señalado en el Reglamento Nacional de Edificaciones, donde se indica que se considerará como mínimo para sistemas con conexiones domiciliarias con una dotación de 220 litros/habitante/día en clima templado y cálido, siendo este el clima predominante en la provincia de Tacna.

Por tanto para la población estimada de 32 635 habitantes y para un periodo de diseño proyectado de 20 años, con una dotación de 220 litros/habitante/día se tiene un caudal de diseño de 7 179 700 litros/día equivalente a 83,1 l/s.

El caudal de diseño de máxima demanda horaria será de $1,80 \times 83,1 = 149,58$ l/s para las viviendas.

La distribución del caudal en cada nodo de la red se efectuará de acuerdo al número de lotes y a sus conexiones domiciliarias (para este caso son 12930

viviendas proyectadas en el expediente original), por lo cual el aporte por lote será de 0,012 l/s por lote.

Se incluirá en el caudal de diseño la demanda requerida por áreas verdes y áreas destinadas para otros usos no correspondientes a usos de vivienda como ser colegios, centros recreativos y deportivos (equipamiento en general) distribuidos en los nodos, y sus respectivas cotas de acuerdo al Anexo 01: Cálculos justificatorios de la demanda de la Red de Agua Potable en el sector Viñani.

3.3.3. Modelado de la Red de Agua Potable

La distribución de la red de agua potable en estudio está constituida de 140 tuberías unidas por 91 nodos, formando 20 circuitos de tuberías, mediante las cuales se abastece de agua potable a las viviendas y servicios del sector Viñani. Ver Anexo 11: Planos de la Red de distribución de agua en el sector Viñani – Gregorio Albarracin Lanchipa – Tacna

Se muestran las características geométricas de la red, se aprecian los diámetros comerciales establecidos en el diseño sin criterios de optimización, las longitudes de los tramos de tuberías. Ver Anexo 03-A: Características geométricas de la red: diámetros y longitudes de las tuberías.

A continuación se muestran las características físicas del líquido a ser transportado por las tuberías, necesarios para el diseño de la red de agua potable. Ver Anexo 03-B: Características físicas del agua circulante en las tuberías.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CÁLCULO DE LA RED ACTUAL EMPLEANDO EL SOFTWARE ELABORADO (MAGMOREDES)

El software elaborado (MAGMOREDES), además del diseño optimizado de tuberías usando el Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo, permite el cálculo hidráulico de redes, por lo cual se empleará en la red en estudio. Se procede a describir el proceso.

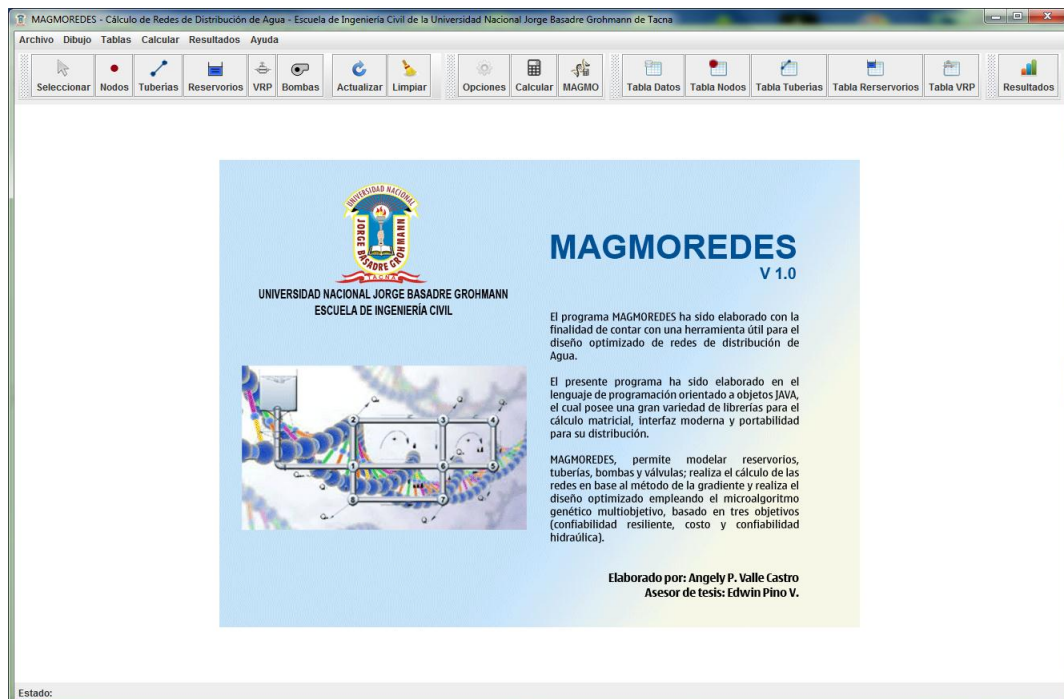


Figura 14: Pantalla de Inicio del software elaborado – MAGMOREDES V 1.0

4.1.1. Dibujo de la Red

El software permite el ingreso gráfico de los elementos de la red, por lo que se procedió a modelar los nodos, tuberías y reservorio existente en la red.

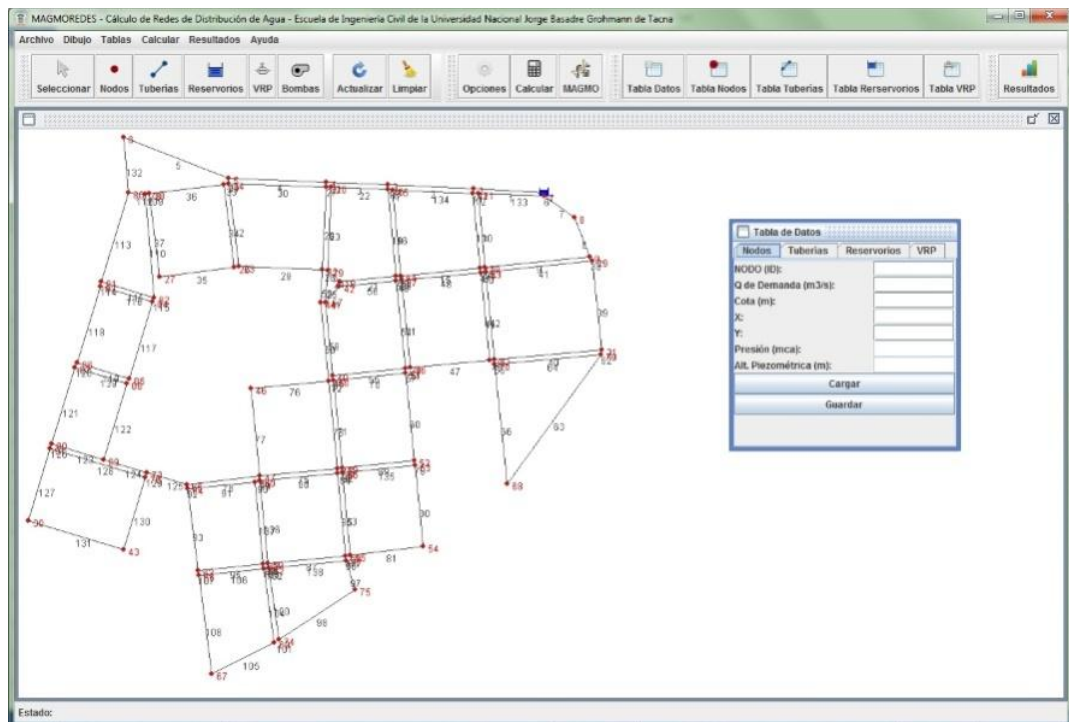


Figura 15: Área y elementos de dibujo

4.1.2. Completado de datos

Una vez dibujada la red, se procede a completar la información de los elementos modelados mediante las tablas respectivas (tabla de nodos, tabla de tuberías, tabla de reservorios).

En la tabla de nodos, se procede a completar los datos de etiqueta, caudal de demanda y cota.

Id	Etiqueta	Caudal de Demanda (l/s)	Cota (m)	Presión (mca)	Altura Piezometrica (m)	X	Y
2	N-2	0.0	468.35	0.0	0.0	568.0	74.0
3	N-3	0.0	468.73	0.0	0.0	461.0	69.0
4	N-4	0.0	466.74	0.0	0.0	384.0	66.0
5	N-5	0.0	462.0	0.0	0.0	262.0	61.0
6	N-6	0.0	460.24	0.0	0.0	131.0	10.0
7	N-7	0.46	467.27	0.0	0.0	656.0	83.0
8	N-8	0.46	463.12	0.0	0.0	694.0	110.0
9	N-9	2.2	457.76	0.0	0.0	713.0	159.0
10	N-10	1.76	459.04	0.0	0.0	582.0	172.0
11	N-11	1.36	469.0	0.0	0.0	574.0	80.0
12	N-12	1.55	469.0	0.0	0.0	567.0	80.0
13	N-13	1.61	459.05	0.0	0.0	576.0	173.0
14	N-14	1.71	458.43	0.0	0.0	477.0	183.0
15	N-15	1.64	469.08	0.0	0.0	467.0	76.0
16	N-16	1.62	469.0	0.0	0.0	461.0	75.0
17	N-17	1.86	458.11	0.0	0.0	471.0	183.0
18	N-18	0.7	456.23	0.0	0.0	401.0	190.0
19	N-19	0.7	457.53	0.0	0.0	386.0	176.0
20	N-20	1.57	466.77	0.0	0.0	390.0	72.0
21	N-21	2.5	466.5	0.0	0.0	384.0	72.0
22	N-22	3.36	457.32	0.0	0.0	379.0	175.0
23	N-23	2.08	453.8	0.0	0.0	275.0	171.0
24	N-24	2.34	462.2	0.0	0.0	262.0	68.0
25	N-25	1.97	461.91	0.0	0.0	256.0	69.0
26	N-26	2.37	453.55	0.0	0.0	269.0	172.0
27	N-27	1.58	448.57	0.0	0.0	176.0	184.0
28	N-28	1.97	456.01	0.0	0.0	163.0	80.0
29	N-29	3.18	456.94	0.0	0.0	716.0	164.0
30	N-30	2.7	413.8	0.0	0.0	12.0	488.0
31	N-31	3.23	445.81	0.0	0.0	728.0	275.0
32	N-32	2.7	446.07	0.0	0.0	604.0	287.0

Figura 16: Tabla de datos - Nodos

En la tabla de tuberías, se procede a completar los datos de etiqueta, longitud, diámetros y coeficiente de rugosidad.

Id	Etiqueta	Longitud (m)	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	C. Rugosidad (mm)	Viscosidad	Válvula Check?	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
1	T-1	353.98	-1	2	329.2	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
2	T-2	426.62	2	3	329.2	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
3	T-3	308.48	3	4	292.2	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
4	T-4	487.19	4	5	292.2	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
5	T-5	563.69	5	6	292.2	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
6	T-6	19.64	-1	7	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
7	T-7	208.61	7	8	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
8	T-8	211.23	8	9	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
9	T-9	524.28	9	10	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
10	T-10	370.91	11	10	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
11	T-11	21.81	2	12	185.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
12	T-12	24.81	11	12	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
13	T-13	374.33	12	13	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
14	T-14	25.1	10	13	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
15	T-15	397.19	13	14	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
16	T-16	429.96	15	14	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
17	T-17	25.5	15	16	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
18	T-18	25.85	3	16	185.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
19	T-19	433.75	16	17	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
20	T-20	24.33	14	17	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
21	T-21	282.89	17	18	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
22	T-22	282.17	16	20	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
23	T-23	414.12	20	19	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
24	T-24	89.94	19	18	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
25	T-25	162.74	19	41	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
26	T-26	27.21	19	22	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
27	T-27	25.51	4	21	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
28	T-28	412.55	21	22	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
29	T-29	418.11	22	23	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
30	T-30	487.13	21	24	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0
31	T-31	27.61	5	24	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	0.0	0.0

Figura 17: Tabla de datos – Tuberías

En la tabla de reservorios, se procede a completar los datos de etiqueta, elevación y altura piezométrica.

Tabla de Datos - Reservorios					
Archivo Edición Ayuda					
Id	Etiqueta	Elevación (m)	Altura Piezométrica (m)	X	Y
1	R-1	483.91	483.91	656.0	79.0

Guardar Cancelar

Figura 18: Tabla de datos – Reservorios

Se puede revisar la información ingresada por medio de la tabla de datos del área de dibujo.

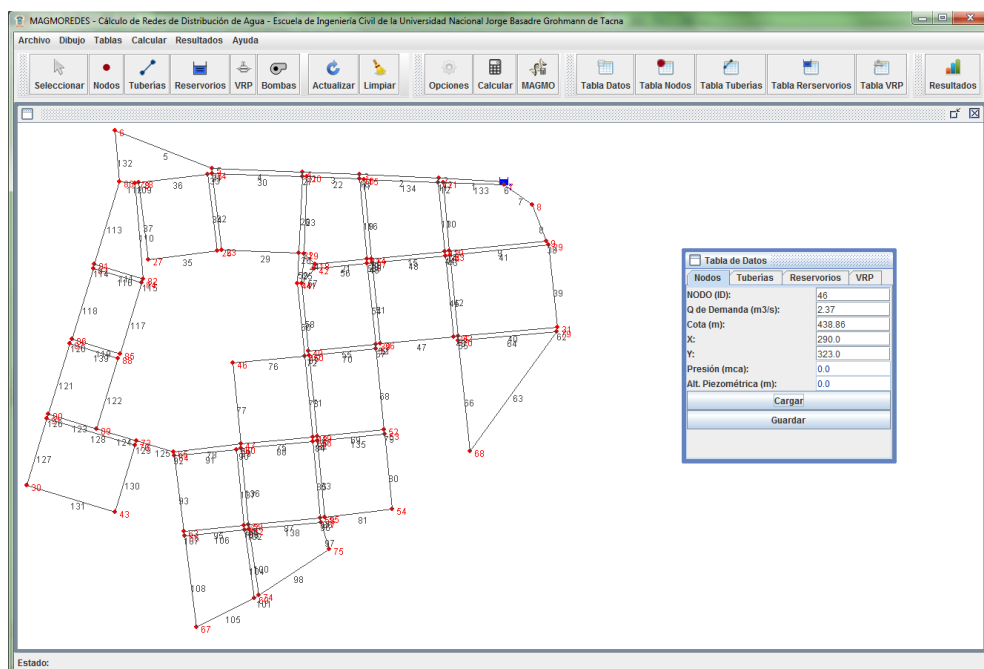


Figura 19: Tabla de datos del área de dibujo - Nodos

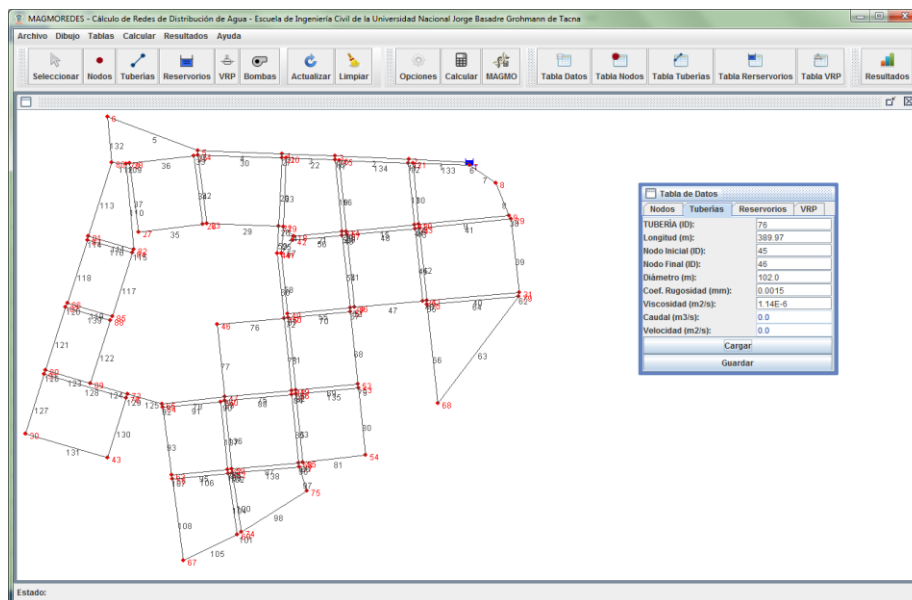


Figura 20: Tabla de datos del área de dibujo – Tuberías

4.1.3. Cálculo de la Red

Para el cálculo de la red, se procede a definir los parámetros de cálculo. Para el Método del gradiente, se procede a definir la tolerancia de error y la viscosidad cinemática del fluido.

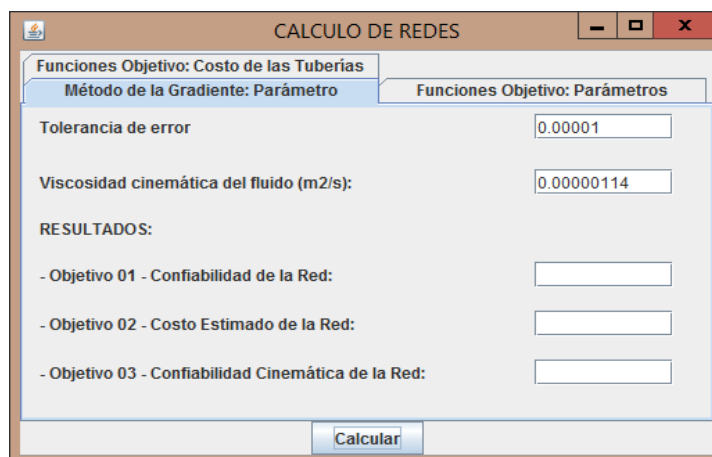


Figura 21: Configuración para el cálculo de redes – Parámetros del método de la gradiente

Para realizar el cálculo de los 03 objetivos desarrollados en este trabajo de investigación (confiabilidad resiliente, costo estimado, confiabilidad cinemática). Para lo cual se definen sus parámetros para cada objetivo.

Figura 22: Configuración para el cálculo de redes – Parámetros de las funciones objetivo

Una vez definidos los parámetros, se procede a calcular la red.

4.1.4. Resultados

Finalizando el proceso se presentan en la ventana de cálculo los resultados referentes a los 03 objetivos.

Figura 23: Resultados del cálculo de redes - Objetivos

Los resultados referentes a los nodos de la red como son sus presiones y altura piezométrica, se muestran en la Tabla de datos – Nodos.

Id	Etiqueta	Caudal de Demanda (l/s)	Cota (m)	Presión (mca)	Altura Piezométrica (m)	X	Y
2	N-2	0.0	468.35	12.948	481.298	568.0	74.0
3	N-3	0.0	468.73	10.741	479.471	461.0	69.0
4	N-4	0.0	466.74	11.577	478.317	384.0	66.0
5	N-5	0.0	462.0	15.718	477.718	262.0	61.0
6	N-6	0.0	460.24	17.387	477.627	131.0	10.0
7	N-7	0.46	467.27	16.472	483.742	656.0	83.0
8	N-8	0.46	463.12	16.108	479.228	694.0	110.0
9	N-9	2.2	457.76	17.181	474.941	713.0	159.0
10	N-10	1.76	459.04	16.165	475.205	582.0	172.0
11	N-11	1.36	469.0	11.998	480.998	574.0	80.0
12	N-12	1.55	469.0	12.08	481.08	567.0	80.0
13	N-13	1.61	459.05	15.951	475.001	576.0	173.0
14	N-14	1.71	458.43	15.656	474.086	477.0	183.0
15	N-15	1.64	469.08	10.144	479.224	467.0	76.0
16	N-16	1.62	469.0	10.243	479.243	461.0	75.0
17	N-17	1.86	458.11	15.933	474.043	471.0	183.0
18	N-18	0.7	456.23	16.283	472.513	401.0	190.0
19	N-19	0.7	457.53	14.592	472.122	386.0	176.0
20	N-20	1.57	466.77	10.829	477.599	390.0	72.0
21	N-21	2.5	466.5	11.208	477.708	384.0	72.0
22	N-22	3.36	457.32	14.737	472.057	379.0	175.0
23	N-23	2.08	453.8	20.14	473.94	275.0	171.0
24	N-24	2.34	462.2	15.078	477.278	262.0	68.0
25	N-25	1.97	461.91	15.134	477.044	256.0	69.0
26	N-26	2.37	453.55	19.552	473.102	269.0	172.0
27	N-27	1.58	448.57	22.687	471.257	176.0	184.0
28	N-28	1.97	456.01	14.008	470.018	163.0	80.0
29	N-29	3.18	456.94	17.543	474.483	716.0	164.0
30	N-30	2.7	413.8	34.966	448.766	12.0	488.0
31	N-31	3.23	445.81	23.507	469.317	728.0	275.0

Figura 24: Resultados del cálculo de redes – Tabla de nodos

Los resultados referentes a las tuberías de la red como son los caudales y velocidades, se muestran en la Tabla de datos – Tuberías.

Tabla de datos - Tuberías

Id	Etiqueta	Longitud (m)	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	C. Rugosidad	Viscosidad	Válvula	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
1	T-1	353.98	-1	2	329.2	PVC	0.0015	1.14E-6	0	163.097	1.916
2	T-2	426.62	2	3	329.2	PVC	0.0015	1.14E-6	0	121.012	1.422
3	T-3	308.48	3	4	292.2	PVC	0.0015	1.14E-6	0	81.849	1.221
4	T-4	487.19	4	5	292.2	PVC	0.0015	1.14E-6	0	44.262	0.66
5	T-5	563.69	5	6	292.2	PVC	0.0015	1.14E-6	0	14.186	0.212
6	T-6	19.64	-1	7	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	21.313	1.232
7	T-7	208.61	7	8	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	13.126	1.606
8	T-8	211.23	8	9	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	12.666	1.55
9	T-9	524.28	9	10	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	-1.583	0.193
10	T-10	370.91	11	10	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	10.952	1.34
11	T-11	21.81	2	12	185.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	42.085	1.559
12	T-12	24.81	11	12	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	-4.585	0.561
13	T-13	374.33	12	13	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	30.395	1.757
14	T-14	25.1	10	13	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	7.609	0.931
15	T-15	397.19	13	14	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	3.752	0.459
16	T-16	429.96	15	14	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	9.436	1.155
17	T-17	25.5	15	16	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	-5.521	0.319
18	T-18	25.95	3	16	185.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	39.164	1.451
19	T-19	433.75	16	17	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	25.702	1.486
20	T-20	24.33	14	17	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	3.22	0.394
21	T-21	282.69	17	18	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	6.064	0.742
22	T-22	282.17	16	20	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	6.32	0.774
23	T-23	414.12	20	19	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	9.984	1.222
24	T-24	89.94	19	18	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	-5.364	0.656
25	T-25	162.74	19	41	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	4.173	0.511
26	T-26	27.21	19	22	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	10.476	0.606
27	T-27	25.51	4	21	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	37.586	2.173
28	T-28	412.55	21	22	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	27.67	1.6
29	T-29	418.11	22	23	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	-5.469	0.669
30	T-30	487.13	21	24	102.0	PVC	0.0015	1.14E-6	0	2.182	0.268
31	T-31	27.64	15	24	148.4	PVC	0.0015	1.14E-6	0	30.076	1.730

Guardar Cancelar

Figura 25: Resultados del cálculo de redes – Tabla de Tuberías

Además, se puede revisar los resultados de los nodos y tuberías por medio de la tabla de datos del área de dibujo.

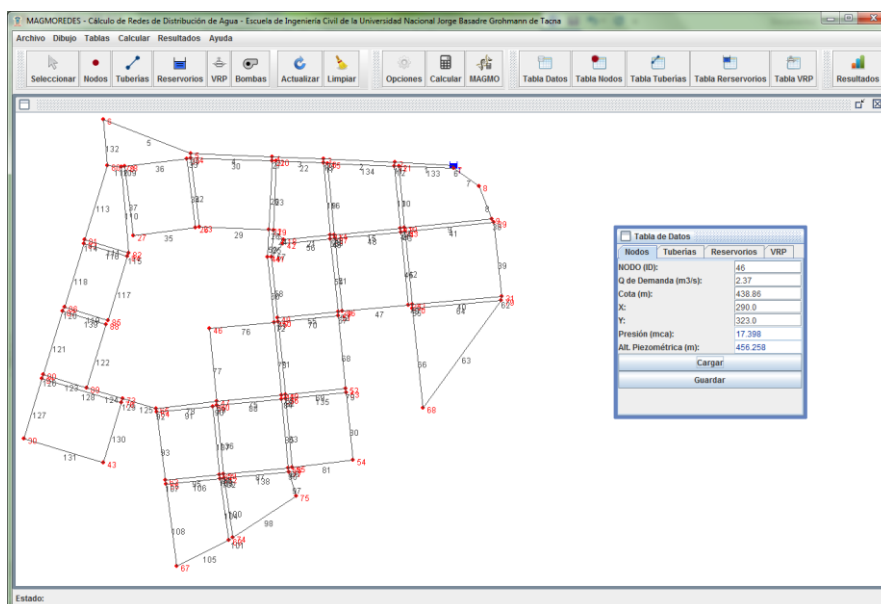


Figura 26: Tabla de datos del área de dibujo – Resultado de nodos

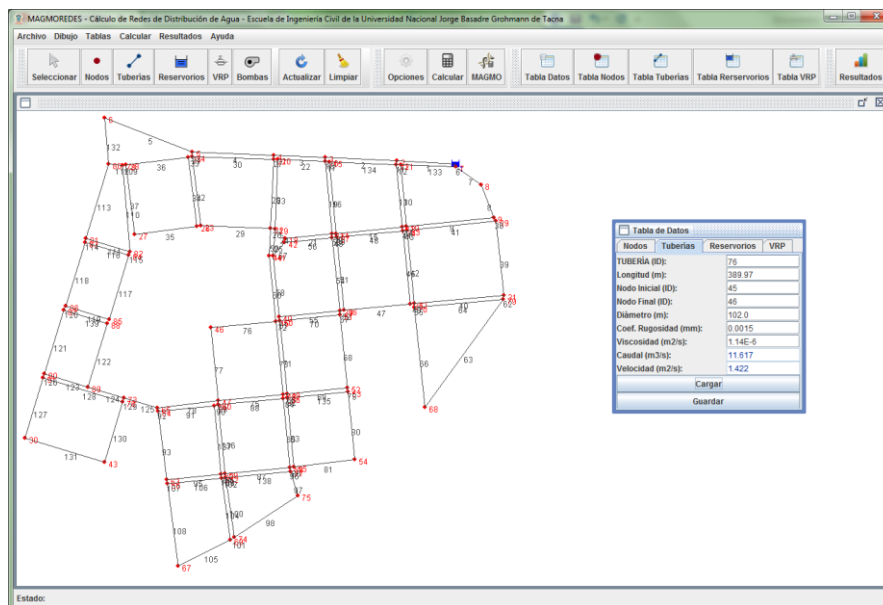


Figura 27: Tabla de datos del área de dibujo – Resultado de tuberías

Por tanto, para una mejor apreciación de los resultados se presentan los cuadros de resultados obtenidos luego del cálculo de la red usando el Método del Gradiente del Software MAGMOREDES vs 1.0 en el Anexo 04 y determinar: las presiones en los nodos, velocidades y caudales en los tramos de tuberías.

Asimismo, se realizó el cálculo de la red de distribución actual (sin optimización) en el Software Watergems determinándose resultados similares y los cuales se muestran en el Anexo 04 –D, 04 - E.

4.1.4.1. Costo de la Red sin Optimización

El costo de la RDA según el planteamiento original, calculado en base a los materiales y topografía actual, es de S/. 1 311 550,83 (Un millón trescientos once mil quinientos cincuenta con 83/100 nuevos soles).

4.1.4.2. Confiabilidad Resiliente de la Red de Agua sin Optimización

La confiabilidad resiliente del sistema tiene un coeficiente de $I_r = 0,70$. Presenta un índice de confiabilidad de más de 0,50, lo cual simboliza una red vulnerable a todo tipo de fallas (ruptura de tubos, fugas, etc.).

4.1.4.3. Confiabilidad Cinemática de la Red de Agua sin Optimización

La confiabilidad cinemática del sistema tiene un coeficiente de $C_c = 0,421$, lo cual indica que las tuberías de la red tienen velocidades fuera de los rangos establecidos en la normativa.

4.2. DISEÑO OPTIMIZADO DE LA RED EMPLEANDO EL SOFTWARE

ELABORADO (MAGMOREDES)

El diseño optimizado de tuberías empleando MAGMOREDES permite obtener las respuestas objetivo de la malla adaptativa y sus características hidráulicas calculadas de los nodos y tuberías (presión y altura piezométrica en los nodos, velocidades y caudales en las tuberías).

Además, se mantiene un historial de la evolución de las soluciones realizadas por el micro algoritmo genético multiobjetivo.

A continuación se presenta el proceso de diseño con MAGMOREDES.

4.2.1. Dibujo de la red y completado de datos

El proceso de dibujo y completado de datos de la red, se la misma manera como se describió en el cálculo de redes. Para el cálculo mediante el empleo de

MAGMO, no existe la necesidad del completado de datos de los diámetros de la tubería.

4.2.2. Configuración de los parámetros del Diseño de redes por MAGMO

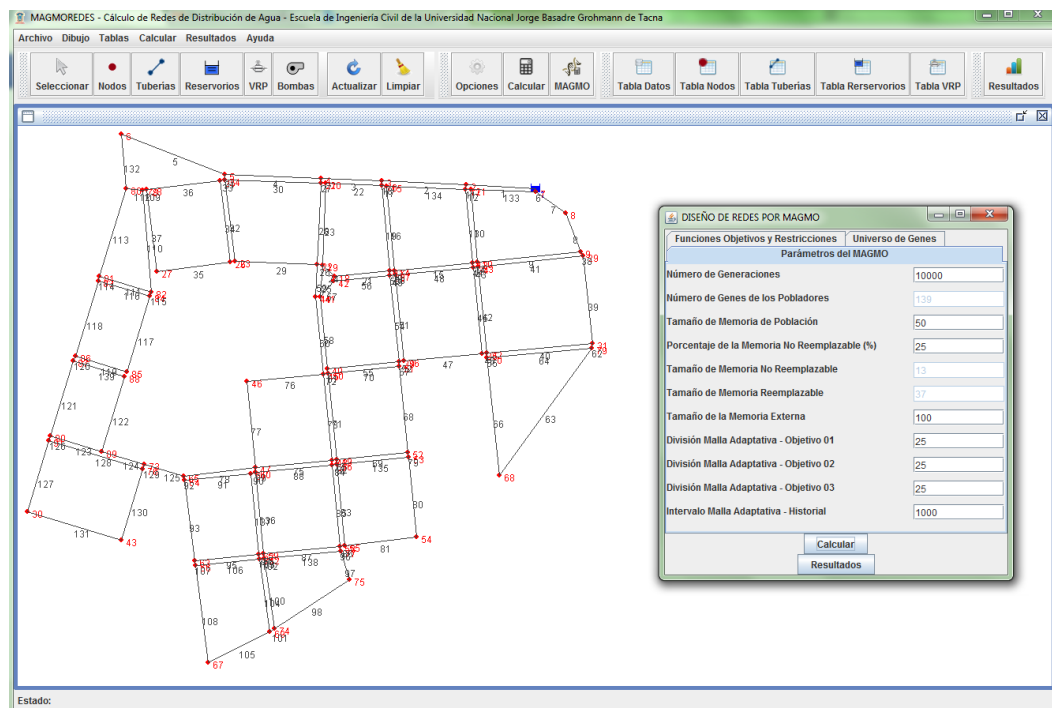


Figura 28: Área de dibujo y Ventana de diseño de redes por MAGMO

Se procede a definir los parámetros del MAGMO como son: el número de generaciones, tamaño de memoria de población, porcentaje de memoria no reemplazable, tamaño de la memoria externa, divisiones de malla adaptativa en sus 03 objetivos e intervalo del historial de la malla adaptativa.

Parámetros del MAGMO	
Número de Generaciones	10000
Número de Genes de los Pobladores	140
Tamaño de Memoria de Población	50
Porcentaje de la Memoria No Reemplazable (%)	25
Tamaño de Memoria No Reemplazable	13
Tamaño de Memoria Reemplazable	37
Tamaño de la Memoria Externa	100
División Malla Adaptativa - Objetivo 01	25
División Malla Adaptativa - Objetivo 02	25
División Malla Adaptativa - Objetivo 03	25
Intervalo Malla Adaptativa - Historial	1000
% de Mutación	5

Calcular: MAGMO 03 Objetivos

Resultados

Figura 29: Diseño de redes por MAGMO – Parámetros del MAGMO

También se definen los parámetros de las funciones objetivos y restricciones como son:

- Para el objetivo 01 referido a la confiabilidad de la red, la presión mínima de servicio.
- Para el objetivo 02 referido al costo de la red, los coeficientes de la función de costo.
- Para el objetivo 03 referido a la confiabilidad cinemática, la velocidad mínima, velocidad máxima recomendable y velocidad máxima admitida.

- Para las restricciones, la presión mínima, velocidad mínima y velocidad máxima.

Figura 30: Diseño de redes por MAGMO – Parámetros de funciones objetivos y restricciones.

Se procede a ingresar el universo de genes (diámetros), del cual el MAGMO seleccionará para generar la población aleatoria. Además, en vez de indicarse los coeficientes de la función de costo de la red, se puede ingresar directamente los costos por metro lineal para cada diámetro.

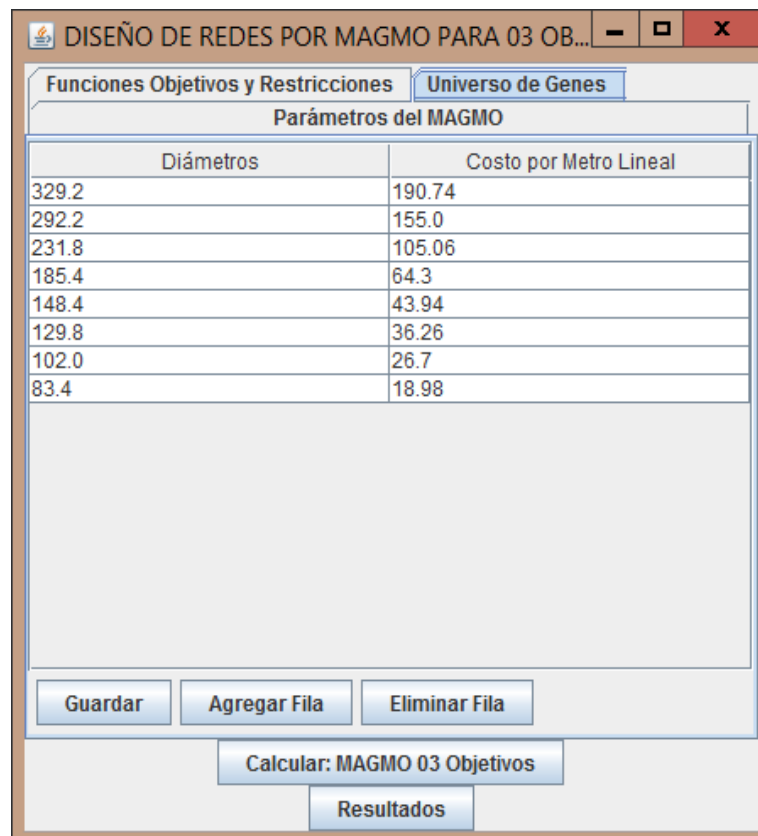


Figura 31: Diseño de redes por MAGMO – Universo de genes

Ingresado todos los parámetros se procede al inicio del proceso de diseño de la red.

4.2.3. Resultados del diseño de redes por MAGMO

Uno de los resultados que se obtienen son los objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante. Además se muestra su respectiva gráfica en la Figura 33.

Se tiene como resultado la tabla de tuberías de los pobladores de la malla adaptativa resultante, en la cual se indica su identificación de poblador y tramo

de tubería, su diámetro, caudal y velocidad para cada tramo, mostrado en la Figura 34.

También se tiene como resultado la tabla de nodos de los pobladores de la malla adaptativa resultante, en la cual se indica su identificación de poblador y nodo, su altura piezométrica y presión de cada nodo.

Finalmente se tiene como resultado la tabla del historial de evolución de la malla adaptativa a lo largo del proceso, mostrada en la Figura 36.

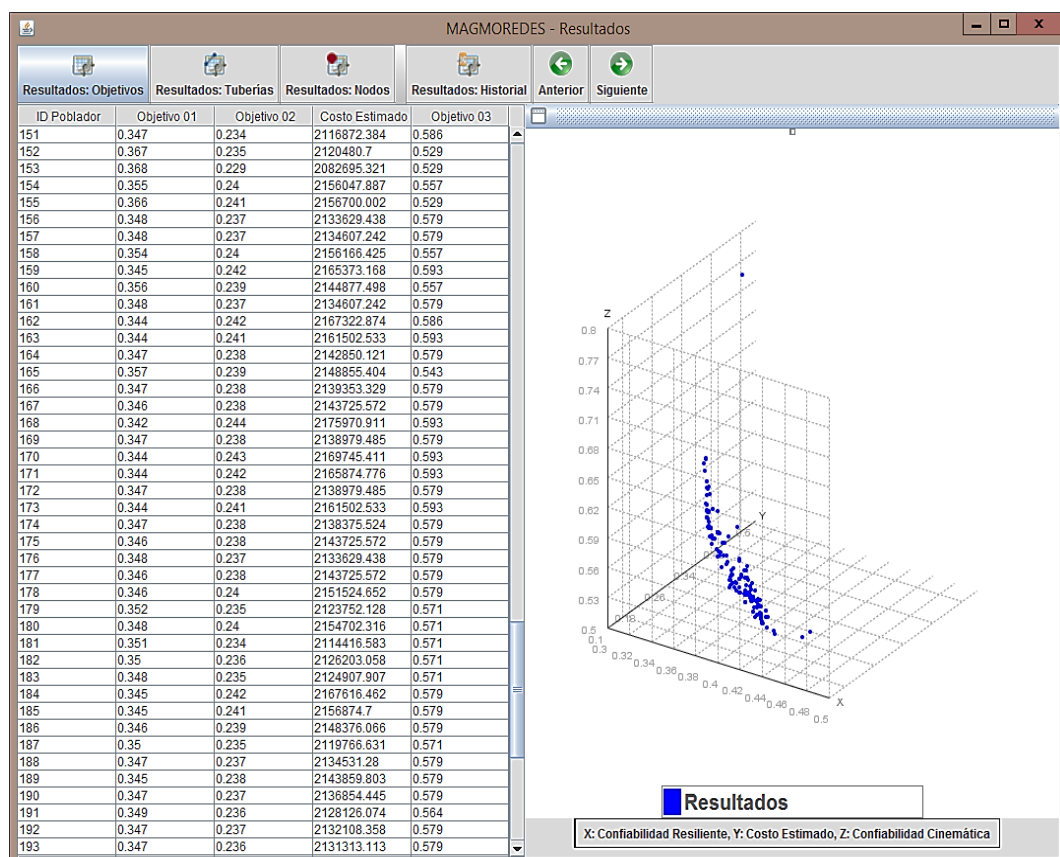


Figura 32: Resultados – Tabla y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

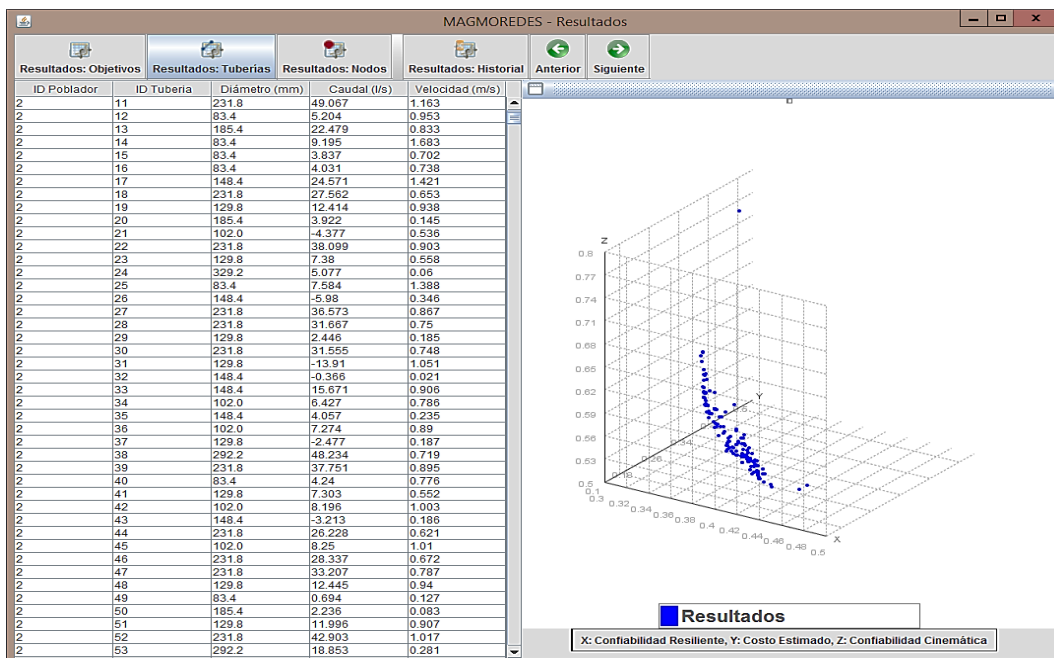


Figura 33: Resultados – Tabla de tuberías y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

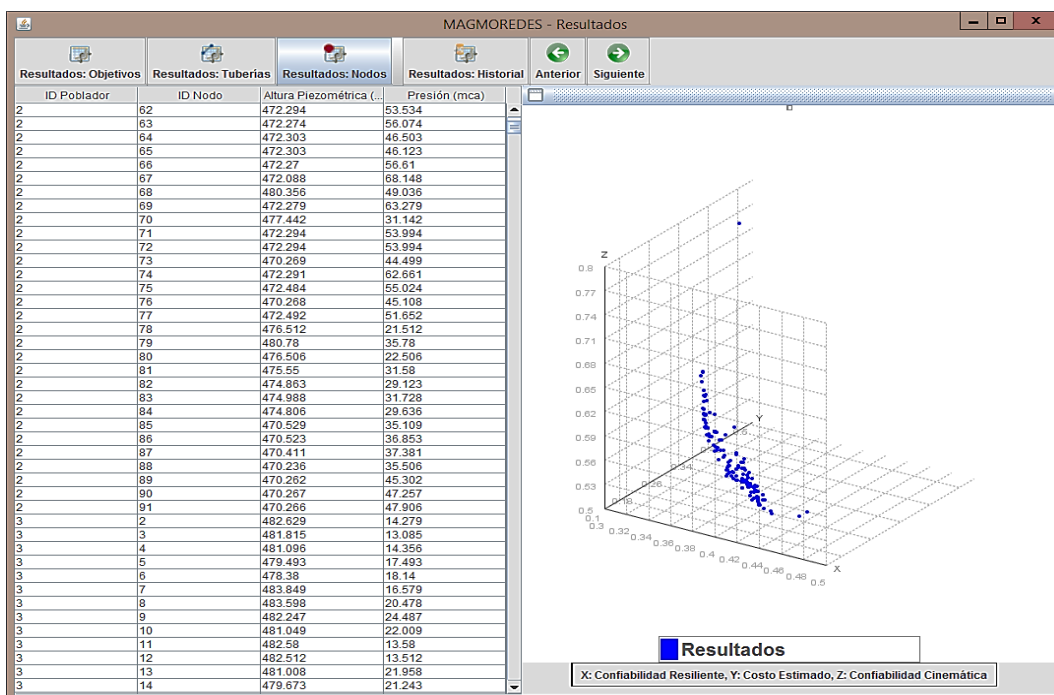


Figura 34: Resultados – Tabla de nodos y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

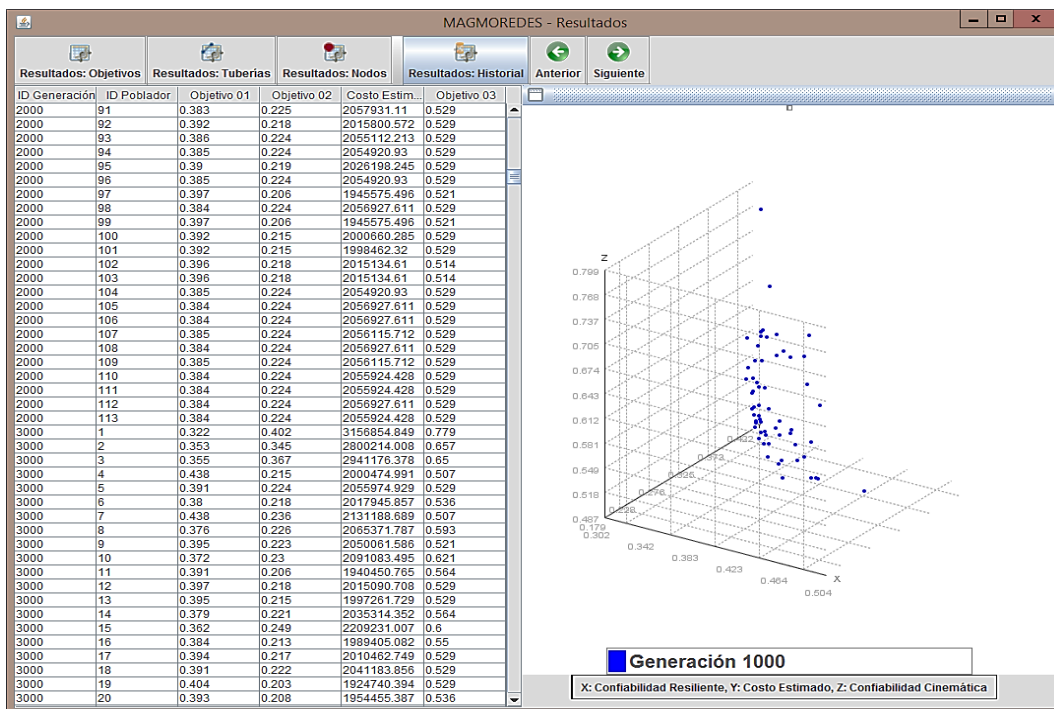


Figura 35: Resultados – Tabla historial de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa

Las gráficas de cada intervalo guardado en el historial son las siguientes:

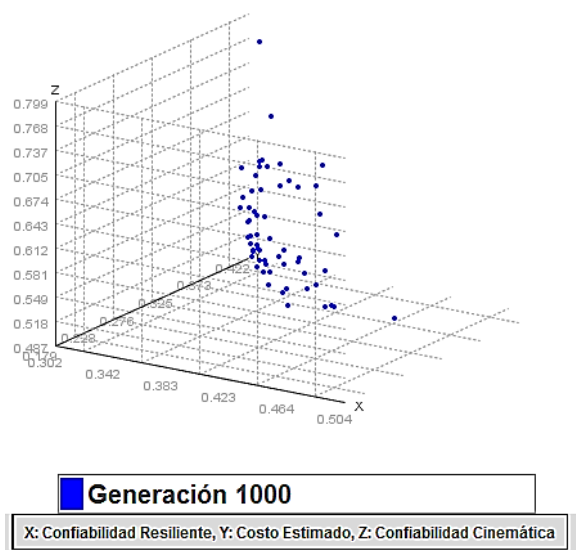


Figura 36: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 1000 del historial de la malla adaptativa

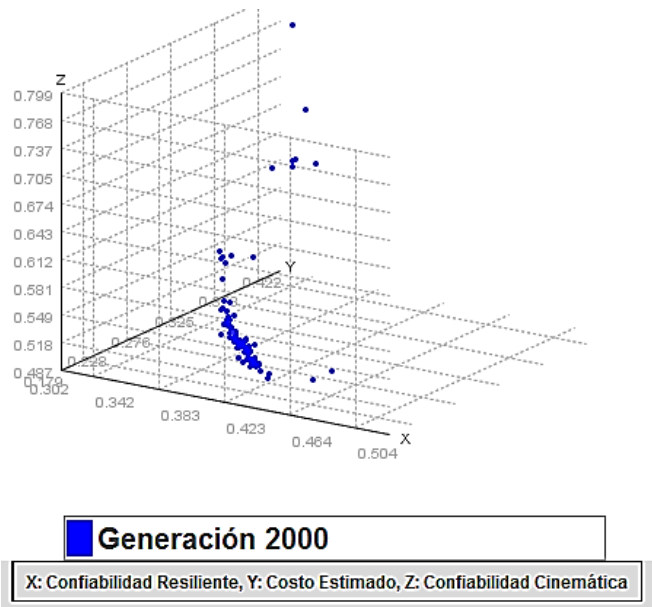


Figura 37: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 2000 del historial de la malla adaptativa

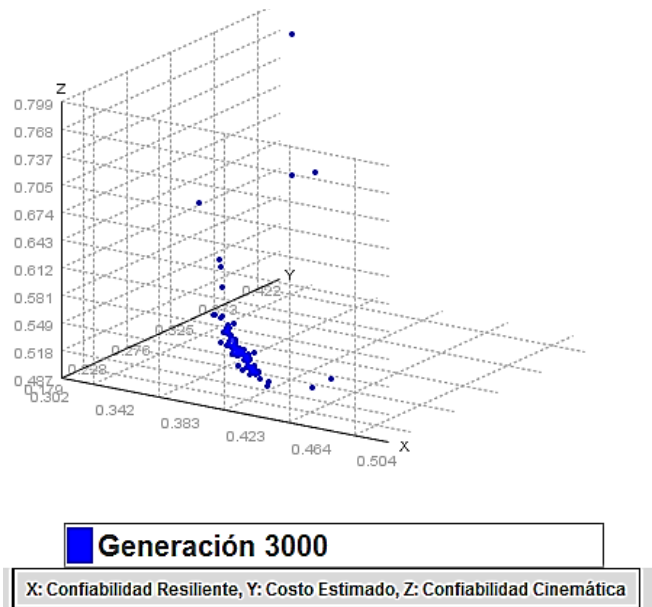


Figura 38: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 3000 del historial de la malla adaptativa

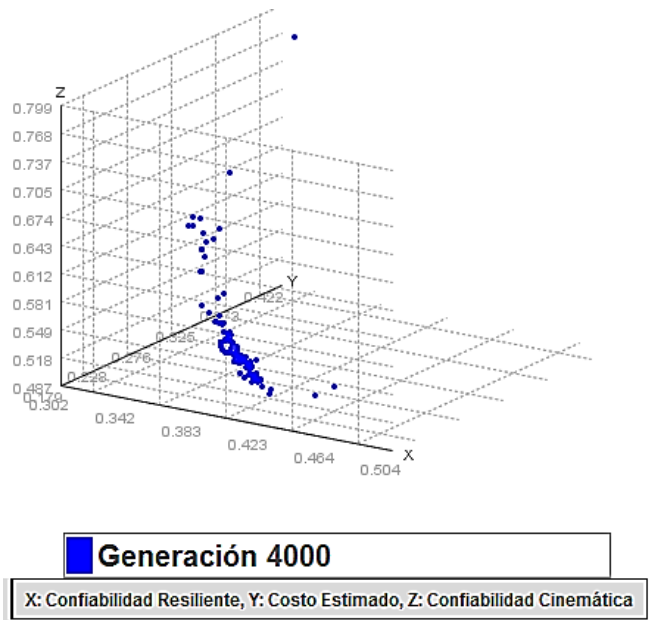


Figura 39: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 4000 del historial de la malla adaptativa

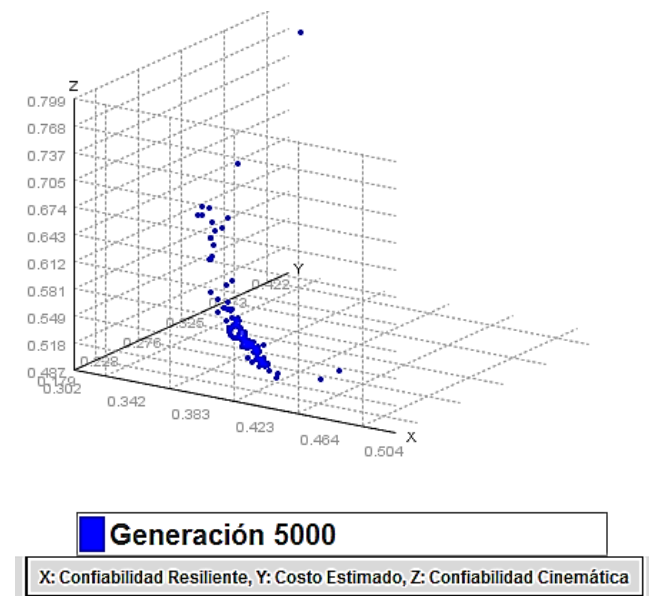


Figura 40: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 5000 del historial de la malla adaptativa

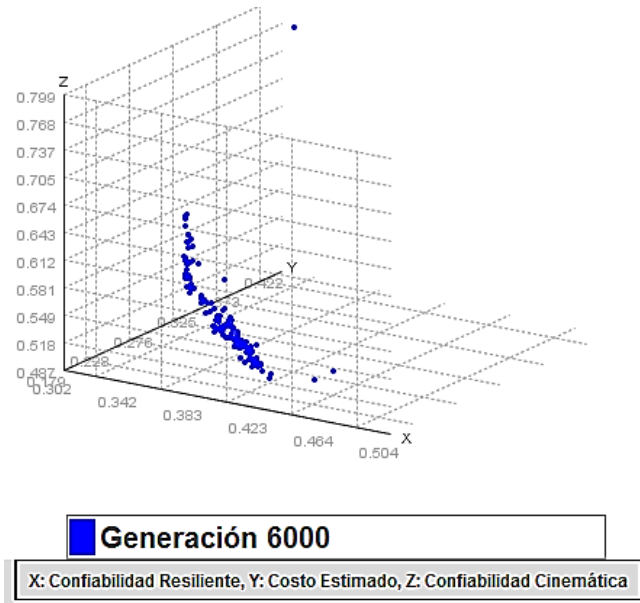


Figura 41: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 6000 del historial de la malla adaptativa

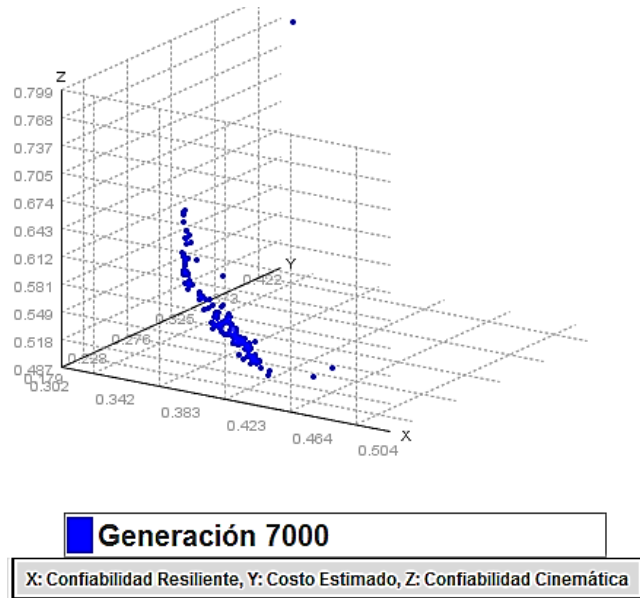


Figura 42: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 7000 del historial de la malla adaptativa

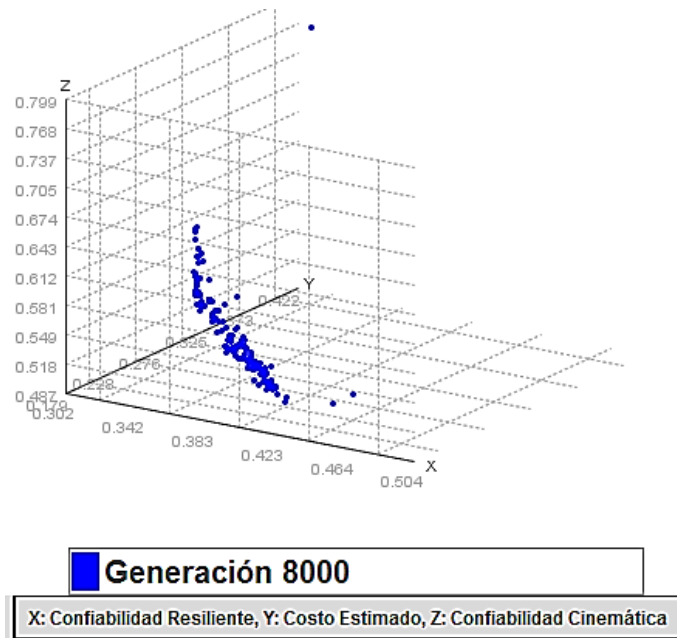


Figura 43: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 8000 del historial de la malla adaptativa

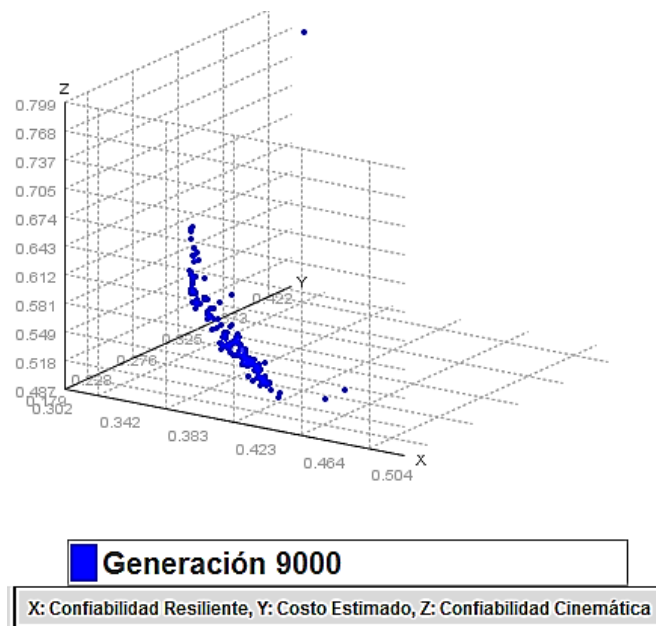


Figura 44: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 9000 del historial de la malla adaptativa

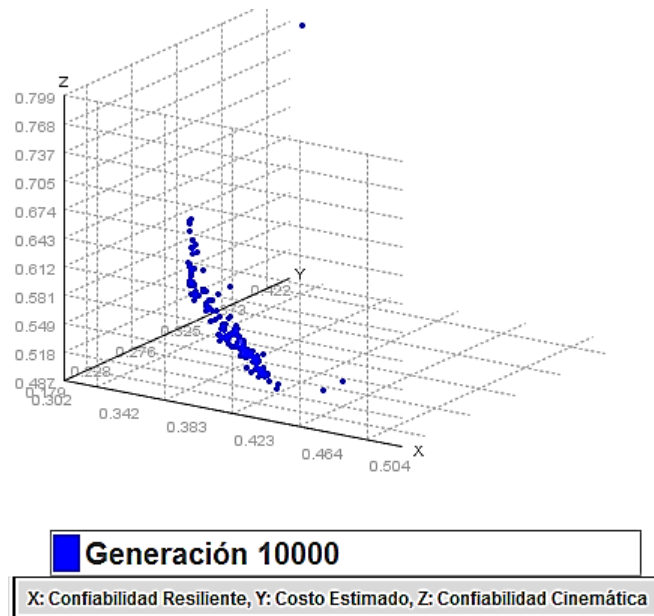


Figura 45: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 10 000 del historial de la malla adaptativa

Por tanto para una mejor apreciación e interpretación de los resultados del diseño de la red optimizada usando el Software MAGMOREDES vs 1.0 es que se presentan dichos resultados en el Anexo 05.

Asimismo de los individuos o cromosomas que se encuentran en la malla adaptativa y conforman el Frente de Pareto después de las 10 000 iteraciones propuestas podemos notar que existe una variedad de posibles redes, por tanto para su elección el proyectista lo realizará en base a criterios ya sea tomando en cuenta las características socio económicas de la población perteneciente al lugar de estudio, el nivel de demanda de consumo, entre otros factores involucrados. Es por ello que habrá una necesidad de priorizar alguno de los objetivos: la economía (menor costo), la confiabilidad resiliente de la red (red

menos vulnerable a fallas, rupturas o fugas) como también la confiabilidad cinemática (mantener las velocidades en el rango normativo).

Como se puede observar en el Anexo 05-A: MAGMO: Tablas de objetivos resultantes, existe una variedad de redes posibles. Para la zona de estudio se prioriza la confiabilidad resiliente de la red y la confiabilidad cinemática, puesto que existe presupuesto o financiamiento (canon minero) y se pretende dar un servicio eficiente y confiable en el Sector Viñani.

Por consiguiente, se ha elegido el poblador n°41.

4.2.3.1. Costo de la red optimizada

El costo de la RDA optimizada es de S/. 1 909 755.22 (Un millón novecientos nueve mil setecientos cincuenta y cinco con 22/100 nuevos soles), y un respectivo índice de economía de 0,201.

4.2.3.2. Confiabilidad resiliente de la red optimizada

La confiabilidad resiliente de la red optimizada tiene un coeficiente de $I_r = 0,418$. Presenta un índice de confiabilidad de menos de 0,50, lo cual simboliza una red poco vulnerable a todo tipo de fallas (ruptura de tubos, fugas, etc.).

4.2.3.3. Confiabilidad cinemática de la red

La confiabilidad cinemática del sistema tiene un coeficiente de $C_c = 0,507$; siendo el valor más óptimo el cero; lo cual indica que algunas tuberías de la red tienen velocidades fuera de los rangos preestablecidos. Es decir que se tiene una red de diseño en la cual existen tuberías con velocidades menores a 0.6

m/s; siendo la velocidad un problema constante y latente en el diseño de redes de agua.

4.3. DISEÑO DE LA RDA PARA DOS OBJETIVOS EMPLEANDO EL SOFTWARE ELABORADO (MAGMOREDES)

Es posible empleando el software MAGMOREDES, el diseño óptimo de tuberías buscando la minimización de 02 objetivos, como son la confiabilidad resiliente y el costo estimado.

Así como el módulo de diseño para 03 objetivos mediante MAGMO del software elaborado, se obtendrán las respuestas objetivo de la malla adaptativa y sus características hidráulicas calculadas de los nodos y tuberías (presión y altura piezométrica en los nodos, velocidades y caudales en las tuberías). Además también se mantendrá un historial de la evolución de las soluciones realizadas por el micro algoritmo genético multiobjetivo.

A continuación se presenta el proceso de diseño con MAGMOREDES en la optimización de 02 objetivos.

4.3.1. Dibujo de la red y completado de datos

El proceso de dibujo y completado de datos de la red, se realiza de la misma manera como se describió en el cálculo de redes y en el diseño optimizado de redes para 03 objetivos mediante MAGMO.

4.3.2. Configuración de los parámetros del Diseño de redes por MAGMO

La definición de los parámetros del MAGMO para 02 objetivos son: el número de generaciones, tamaño de memoria de población, porcentaje de memoria no reemplazable, tamaño de la memoria externa, divisiones de malla adaptativa en sus 02 objetivos e intervalo del historial de la malla adaptativa.

Parámetros del MAGMO	
Número de Generaciones	10000
Número de Genes de los Pobladores	140
Tamaño de Memoria de Población	50
Porcentaje de la Memoria No Reemplazable (%)	25
Tamaño de Memoria No Reemplazable	13
Tamaño de Memoria Reemplazable	37
Tamaño de la Memoria Externa	100
División Malla Adaptativa - Objetivo 01	25
División Malla Adaptativa - Objetivo 02	25
Intervalo Malla Adaptativa - Historial	1000
% de Mutación	5

Figura 46: Diseño de redes por MAGMO – Parámetros del MAGMO

También se definen los parámetros de las funciones objetivos y restricciones como son:

- Para el objetivo 01 referido a la confiabilidad de la red, la presión mínima de servicio.

- Para el objetivo 02 referido al costo de la red, los coeficientes de la función de costo.
- Para las restricciones, la presión mínima, velocidad mínima y velocidad máxima.

The screenshot shows a software window titled "DISEÑO DE REDES CON 02 OBJETIVOS POR ...". It has two tabs: "Funciones Objetivos y Restricciones" (selected) and "Universo de Genes". The main area is titled "Parámetros del MAGMO" and contains the following settings:

- Objetivo 01: Confiabilidad de la Red**
 - Presión Mínima de Servicio (mca): 10.00
- Objetivo 02: Costo de la Red**
 - Estimar costo de la red del costo por metro lineal de tubería
 - Estimar costo de la red mediante los coeficientes de la función costo
 - Coficiente A: 0.01
 - Coficiente B: 1.6948
- Restricciones**
 - Presión Mínima (mca): 10.00
 - Velocidad Mínima (m/s): 0.0
 - Velocidad Máxima (m/s): 5.0

At the bottom, there are two buttons: "Calculo: 02 Objetivos" and "Resultados".

Figura 47: Diseño de redes por MAGMO – Parámetros de funciones objetivos y restricciones

Se procede a ingresar el universo de genes (diámetros), del cual el MAGMO seleccionará para generar la población aleatoria. Además, en vez de indicarse los coeficientes de la función de costo de la red, se puede ingresar directamente los costos por metro lineal para cada diámetro.

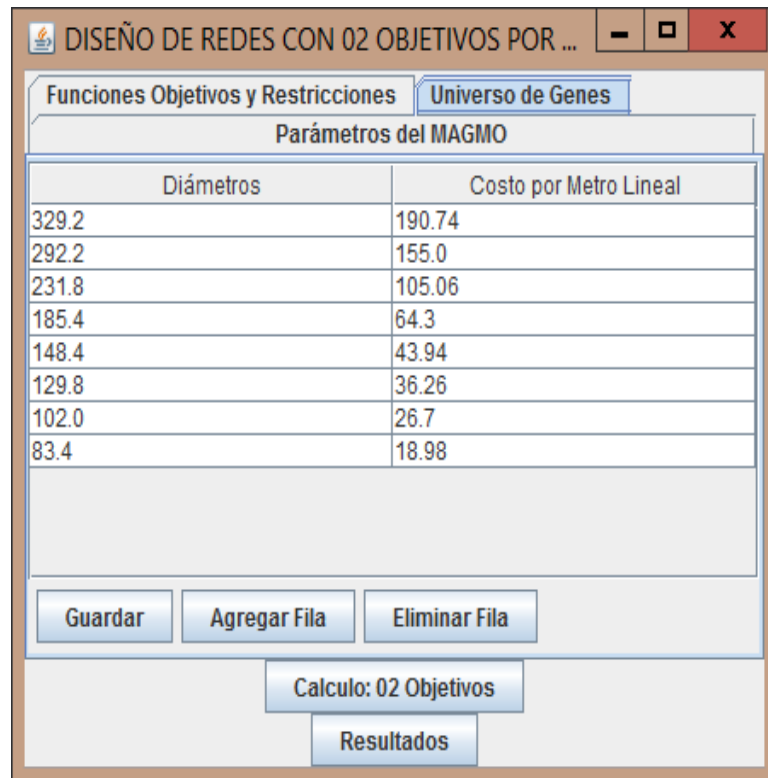


Figura 48: Diseño de redes por MAGMO – Universo de genes

Ingresado todos los parámetros se procede al inicio del proceso de diseño de la red.

4.3.3. Resultados del diseño de redes por MAGMO

Uno de los resultados que se obtienen son los objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante. Además se muestra su respectiva gráfica en la Figura 50.

Se tiene como resultado la tabla de tuberías de los pobladores de la malla adaptativa resultante, en la cual se indica su identificación de poblador y tramo

de tubería, su diámetro, caudal y velocidad para cada tramo, mostrado en la Figura 51.

También se tiene como resultado la tabla de nodos de los pobladores de la malla adaptativa resultante, en la cual se indica su identificación de poblador y nodo, su altura piezométrica y presión de cada nodo, mostrado en la Figura 52.

Finalmente, se tiene como resultado la tabla del historial de evolución de la malla adaptativa a lo largo del proceso, la cual se aprecia en la Figura 53.

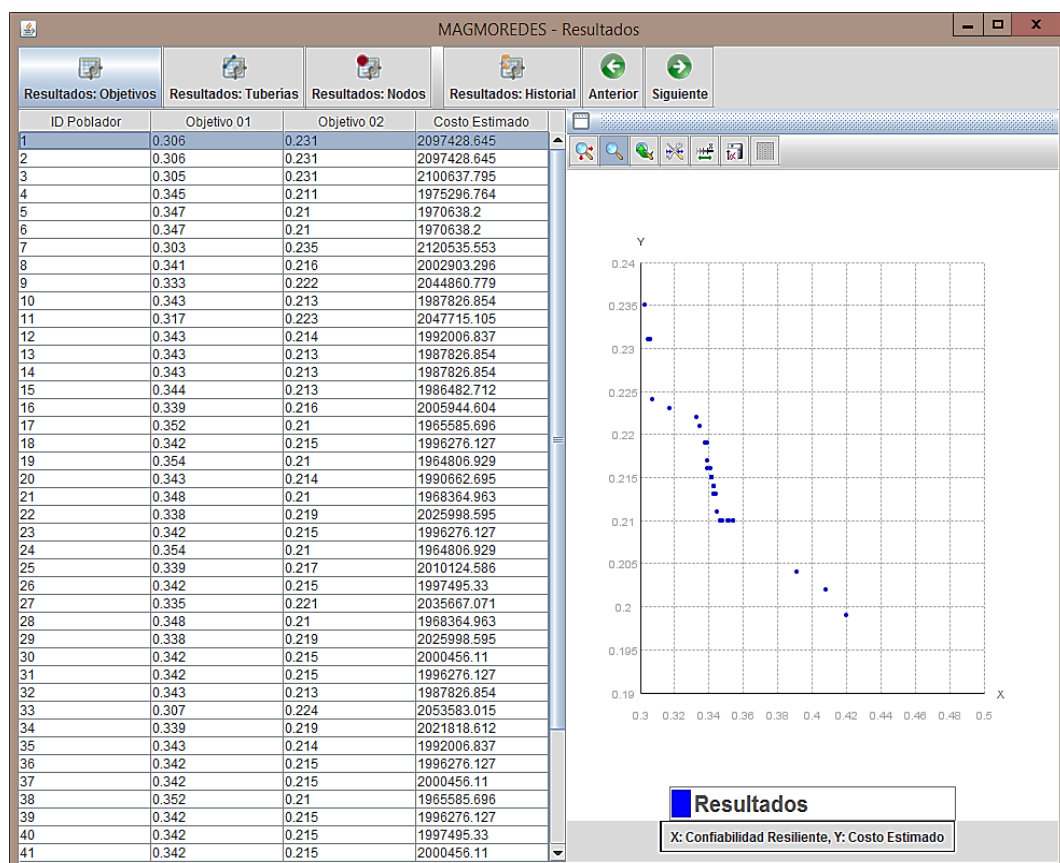


Figura 49: Resultados – Tabla y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

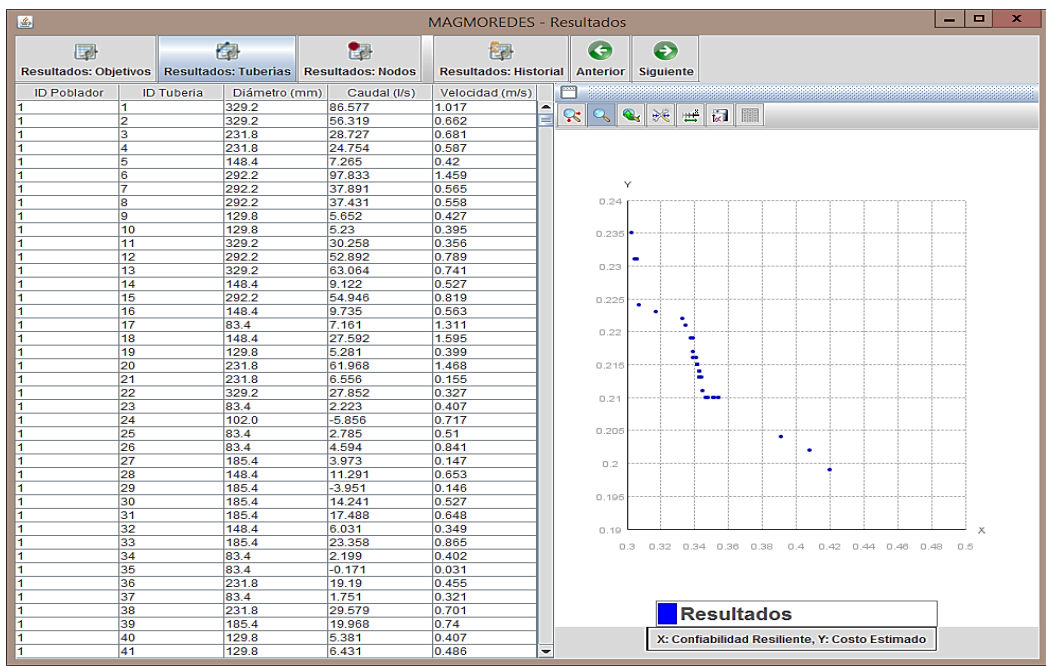


Figura 50: Resultados – Tabla de tuberías y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

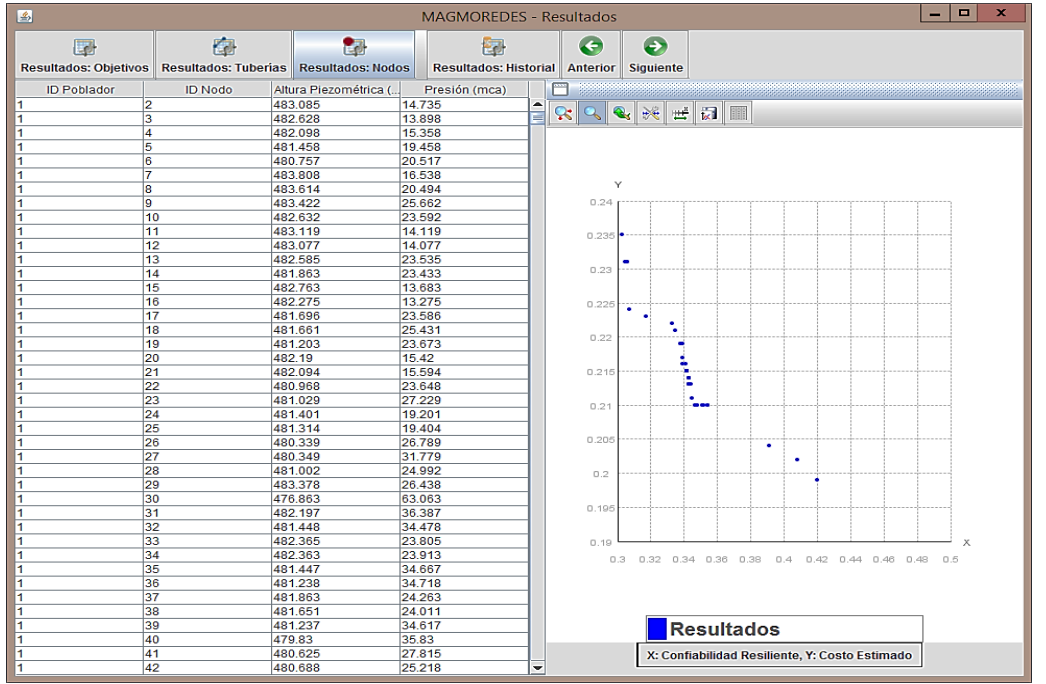


Figura 51: Resultados – Tabla de nodos y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

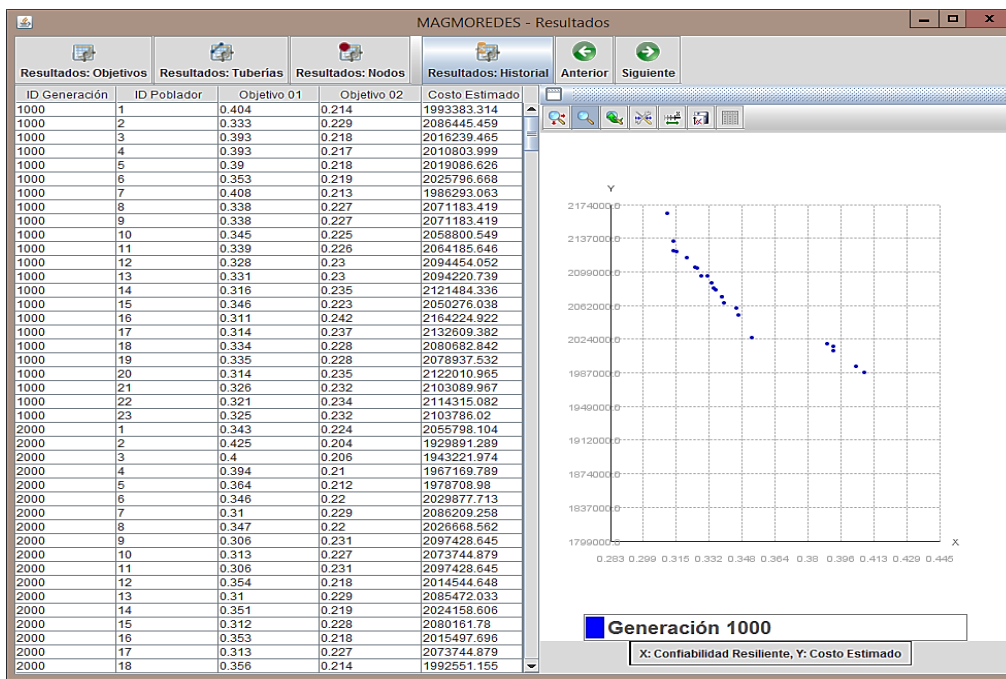


Figura 52: Resultados – Tabla historial de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa

Las gráficas de cada intervalo guardado en el historial, se muestran a continuación.

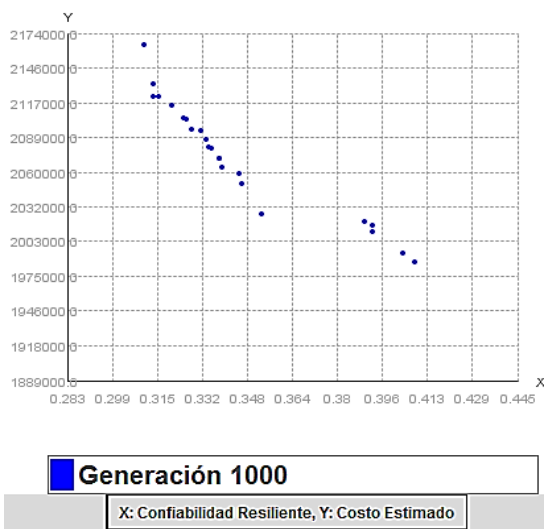


Figura 53: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 1000 del historial de la malla adaptativa

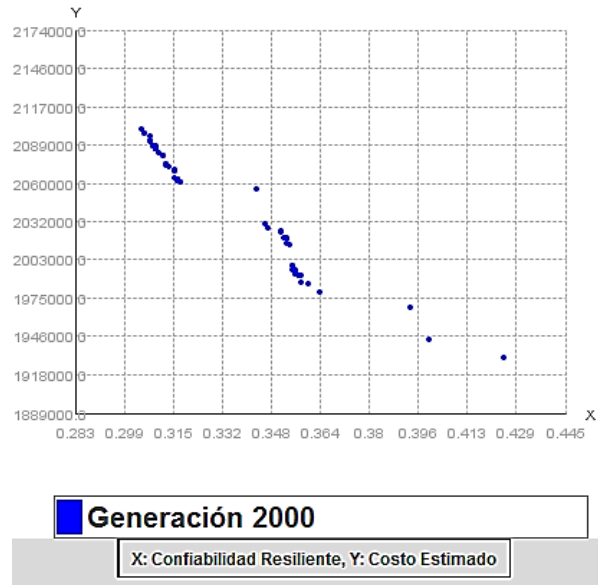


Figura 54: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 2000 del historial de la malla adaptativa

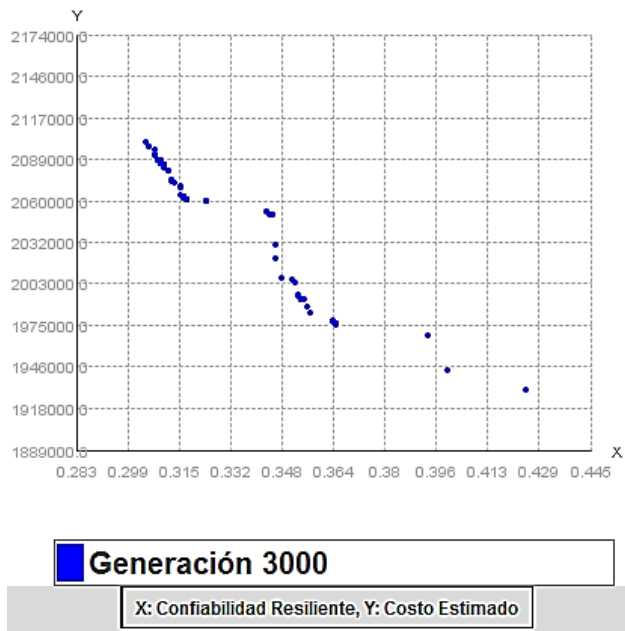


Figura 55: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 3000 del historial de la malla adaptativa

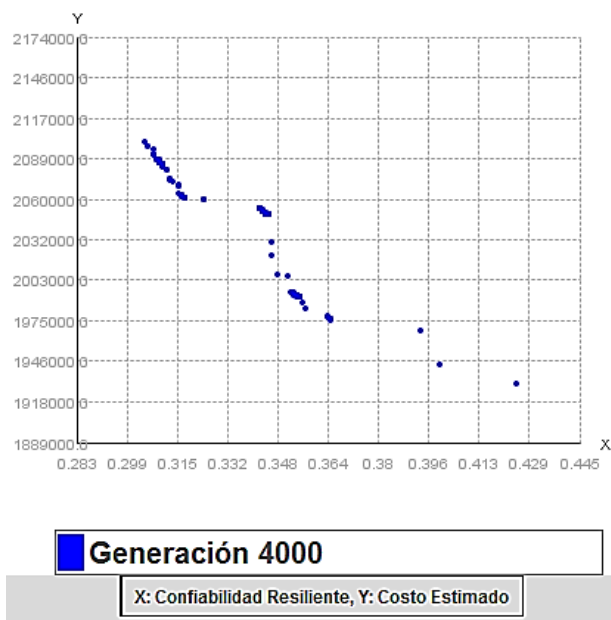


Figura 56: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 4000 del historial de la malla adaptativa

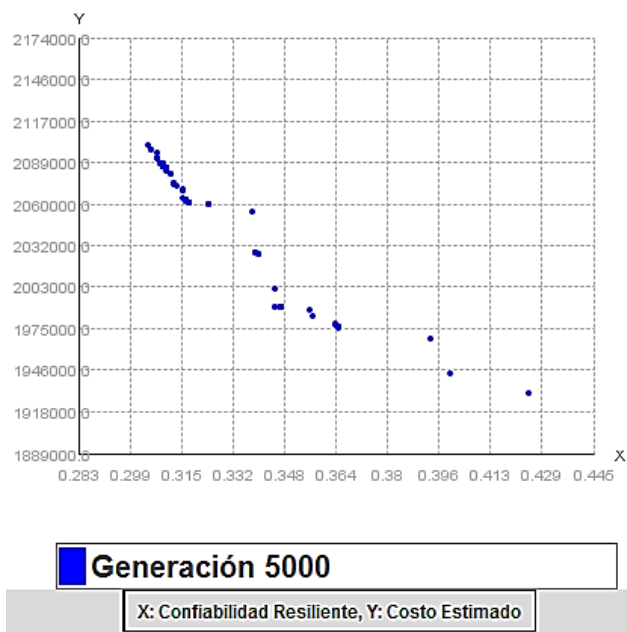


Figura 57: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 5000 del historial de la malla adaptativa

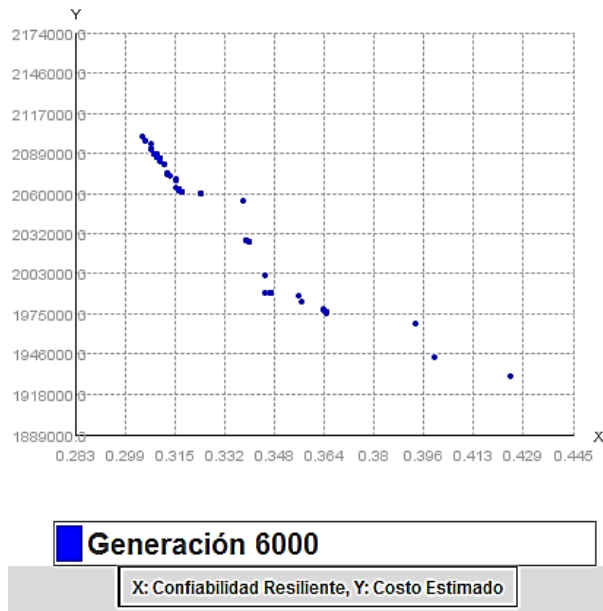


Figura 58: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 6000 del historial de la malla adaptativa

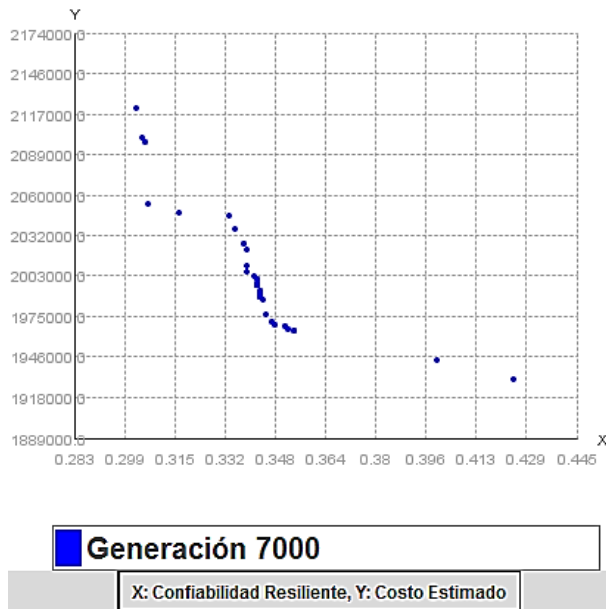


Figura 59: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 7000 del historial de la malla adaptativa

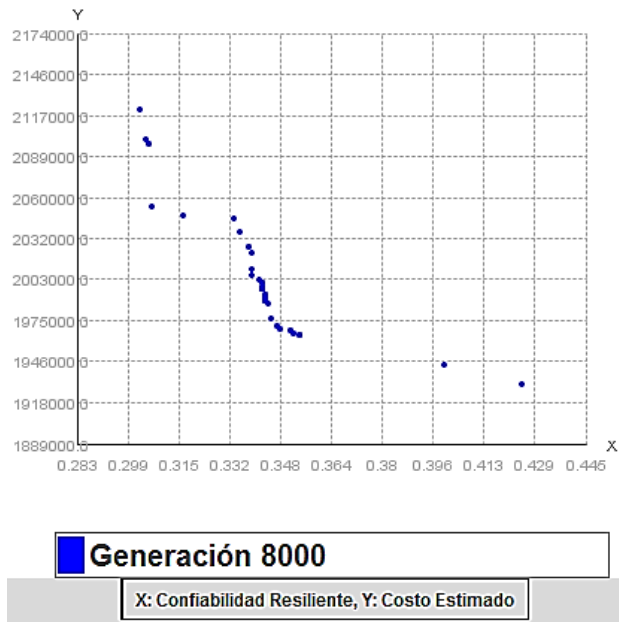


Figura 60: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 8000 del historial de la malla adaptativa

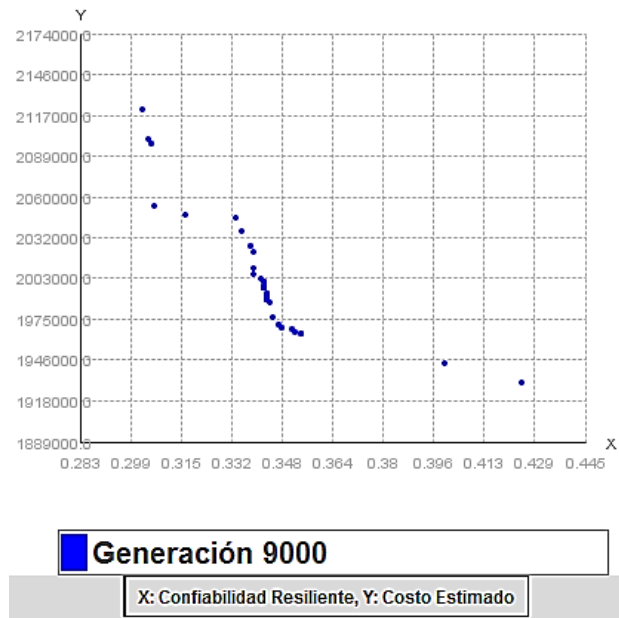


Figura 61: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 9000 del historial de la malla adaptativa

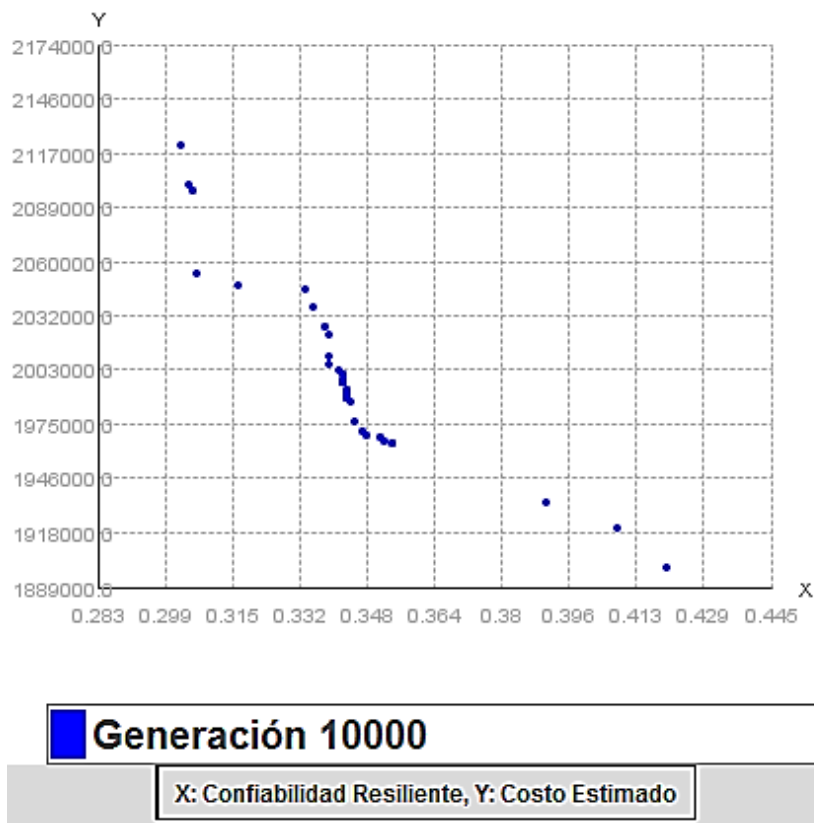


Figura 62: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 10 000 del historial de la malla adaptativa

Por tanto, para una mejor apreciación e interpretación de los resultados del diseño de la red optimizada usando el Software MAGMOREDES considerando dos objetivos es que se presentan en el Anexo 06 los resultados.

Asimismo, de los individuos que se encuentran en la malla adaptativa que forman el Frente de Pareto después de las 10 000 iteraciones propuestas podemos notar que existe una variedad de posibles redes, por tanto para su elección el proyectista tomará un criterio ya sea tomando en cuenta las características socio económicas de la población perteneciente al lugar de

estudio, el nivel de demanda de consumo, entre otros factores involucrados. Es por ello que habrá una necesidad de priorizar alguno de los dos objetivos considerados para este análisis: la economía (menor costo), como también la confiabilidad resiliente de la red (red menos vulnerable a fallas, rupturas o fugas)

Del Anexo 06-A: MAGMO para dos objetivos: Tablas de objetivos resultantes, existe una variedad de redes posibles. Para la zona de estudio se prioriza confiabilidad resiliente de la red, puesto que existe presupuesto o financiamiento (canon minero) y se pretende dar un servicio eficiente y confiable en el Sector Viñani, sin desprestigiar un costo apropiado.

Por consiguiente, se ha elegido el poblador n°48.

4.3.3.1. Costo de la Red Optimizada

El costo de la RDA optimizada es de S/. 1 933 745,61 (Un millón novecientos treinta y tres mil setecientos cuarenta y cinco con 61/100 nuevos soles), y un respectivo índice de economía de 0,204.

4.3.3.2. Confiabilidad Resiliente de la Red Optimizada

La confiabilidad resiliente de la red optimizada tiene un coeficiente de $I_r = 0,391$. Presenta un índice de confiabilidad de menos de 0,50, lo cual simboliza una red poco vulnerable a todo tipo de fallas (ruptura de tubos, fugas, etc.), por tanto es una red eficiente.

4.4. CÁLCULO DE LA RED NUEVA PROYECTADA

Para el diseño de la red de distribución de Agua Potable proyectada primero se realizará un recalcu de los parámetros de diseño.

4.4.1. Determinación de los parámetros de diseño

4.4.1.1. Cálculo de la Población de Diseño

Aplicando los conceptos justificatorios del estudio para la determinación de la población para un periodo de diseño de 20 años considerando para ello:

Que el Puesto de Salud Viñani, en torno a sus registros poblacionales ha determinado una tasa de crecimiento anual poblacional de hasta 7%

La densidad poblacional de la zona para el año 2006 alcanzó los 24,53 habitantes/ha. valor por debajo de los indicadores a nivel provincial (31,66 habitantes/ha.) y distrital (150,43 habitantes/ha.)

Por ello se estableció que la tasa de crecimiento sea mantenida hasta que la densidad poblacional en la zona se duplique (lo que se alcanza en el año 10 del horizonte del proyecto); a partir de ello, se determinó una contracción de la tasa de crecimiento hasta un 5% anual, lo que se mantiene hasta el año 15 del proyecto en que la tasa de crecimiento se redujo hasta alcanzar los valores de la ciudad (2,7%) para el año 2006. Con estos datos, la población proyectada calculada para la zona es la mostrada en el Cuadro 15.

Cuadro 15: Proyección de la población en el sector Viñani

Año		Población	Nº Viviendas	Densidad (hab/ha)	Tasa de Crecimiento
-	2,006	15,761	3,427	24.53	
1	2,007	16,864	3,666	26.25	7.00
2	2,008	18,044	3,923	28.09	7.00
3	2,009	19,307	4,197	30.05	7.00
4	2,010	20,658	4,491	32.16	7.00
5	2,011	22,104	4,805	34.41	7.00
6	2,012	23,651	5,142	36.81	7.00
7	2,013	25,307	5,502	39.39	7.00
8	2,014	27,078	5,887	42.15	7.00
9	2,015	28,973	6,298	45.10	7.00
10	2,016	31,001	6,739	48.26	7.00
11	2,017	32,551	7,076	50.67	5.00
12	2,018	34,179	7,430	53.20	5.00
13	2,019	35,888	7,802	55.86	5.00
14	2,020	37,682	8,192	58.65	5.00
15	2,021	39,566	8,601	61.59	5.00
16	2,022	41,315	8,982	64.31	4.42
17	2,023	42,929	9,332	66.82	3.91
18	2,024	44,412	9,655	69.13	3.45
19	2,025	45,768	9,950	71.24	3.05
20	2,026	47,004	10,218	73.16	2.70

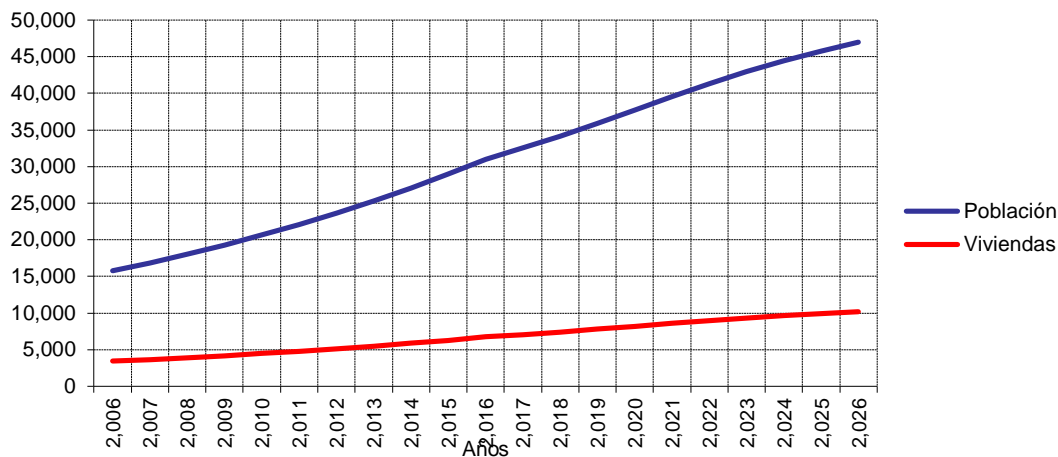


Figura 63: Proyección de la Población y viviendas en la Zona de Influencia del Proyecto.

4.4.1.2. Cálculo del Caudal de Diseño

Se determinó el caudal de diseño para la población proyectada, teniendo en consideración lo señalado en el Reglamento Nacional de Edificaciones, donde se indica que se considerará como mínimo para sistemas con conexiones domiciliarias con una dotación de 220 litros/habitante/día en clima templado y cálido, siendo este el clima predominante en la provincia de Tacna.

Por tanto, para la población estimada de 47 004 habitantes y para un periodo de diseño proyectado de 20 años, con una dotación de 220 litros/habitante/día se tiene un caudal de diseño de 10 340 880 litros/día equivalente a 119,69 l/s.

El caudal de diseño de máxima demanda horaria será de $1,80 \times 119,69 = 215,44$ l/s para las viviendas.

La distribución del caudal en cada nodo de la red se efectuará de acuerdo al número de lotes y a sus conexiones domiciliarias (para este caso son 12 930 viviendas proyectadas en el expediente original), por lo cual el aporte por lote será de 0,017 l/s por lote.

Se incluirá en el caudal de diseño la demanda requerida por áreas verdes y áreas destinadas para otros usos no correspondientes a usos de vivienda como ser colegios, centros recreativos y deportivos (equipamiento en general) distribuidos en los nodos, y sus respectivas cotas de acuerdo al Anexo 07-A: Cálculos justificatorios de la demanda de la Red nueva proyectada de Agua Potable en el Sector Viñani.

4.4.2. Configuración de los parámetros del Diseño de redes por MAGMO

Los parámetros de diseño para la simulación son los mismos expuestos en la sección del Cálculo de RDA empleando el Software MAGMOREDES para tres objetivos.

4.4.3. Resultados del diseño de redes por MAGMO

Uno de los resultados que se obtienen son los objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante. Además se muestra su respectiva gráfica en la Figura 65.

Se tiene como resultado la tabla de tuberías de los pobladores de la malla adaptativa resultante, en la cual se indica su identificación de poblador y tramo de tubería, su diámetro, caudal y velocidad para cada tramo, mostrado en la Figura 66.

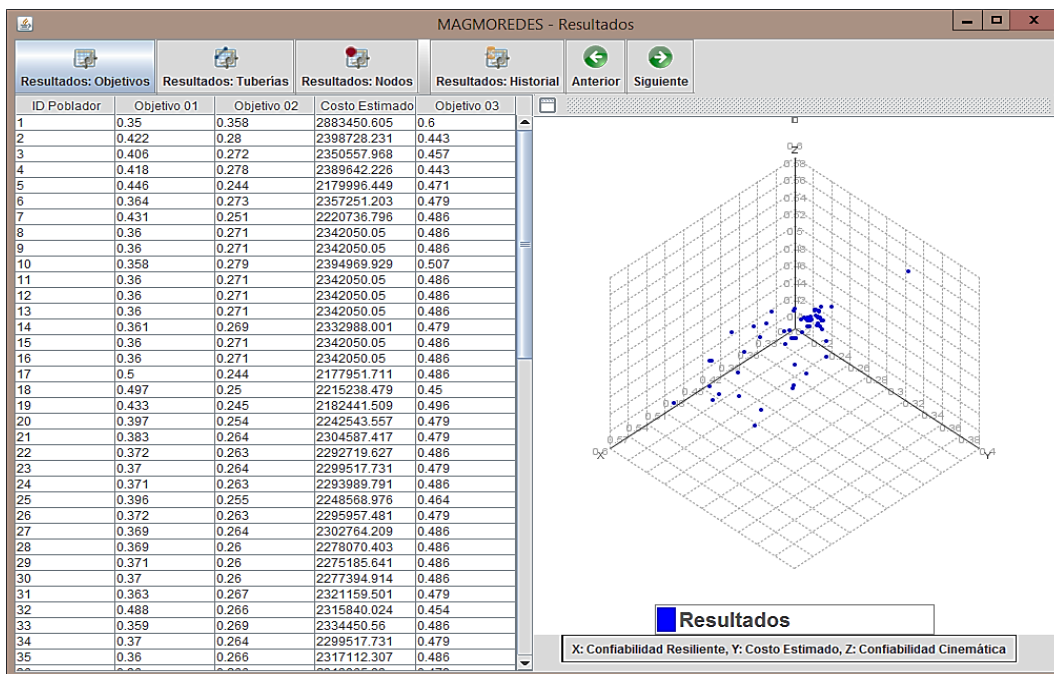


Figura 64: Resultados – Tabla y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

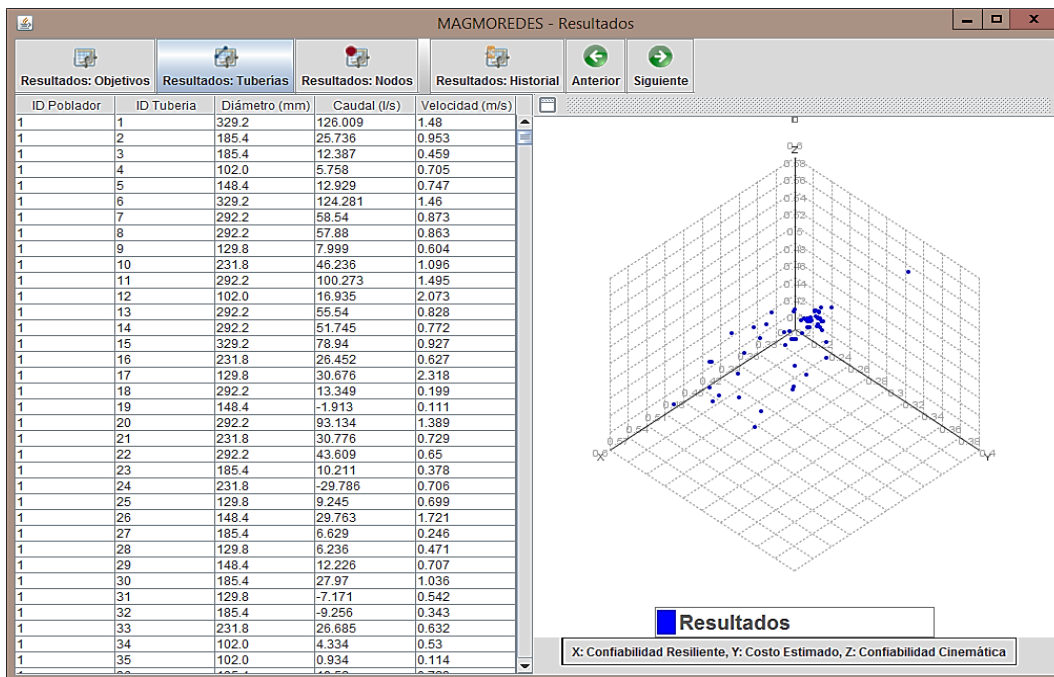


Figura 65: Resultados – Tabla de tuberías y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

También se tiene como resultado la tabla de nodos de los pobladores de la malla adaptativa resultante, en la cual se indica su identificación de poblador y nodo, su altura piezométrica y presión de cada nodo.

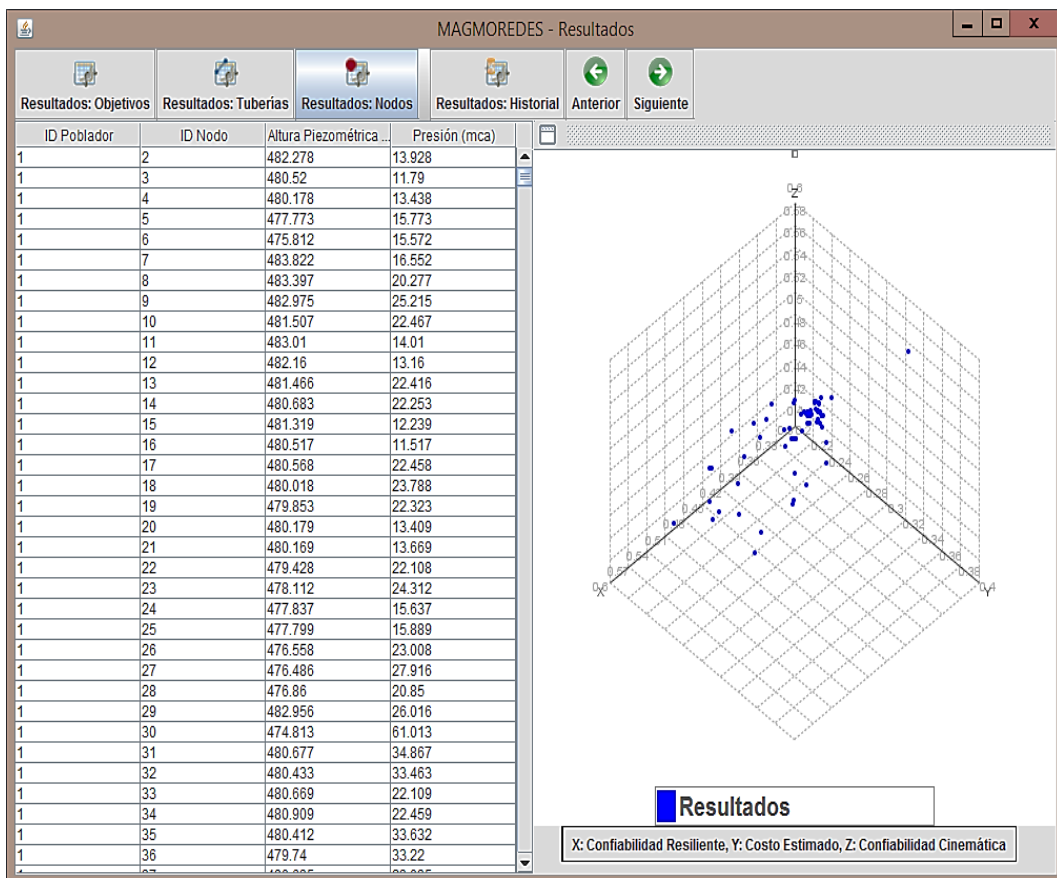


Figura 66: Resultados – Tabla de nodos y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

Finalmente, se tiene como resultado la tabla del historial de evolución de la malla adaptativa a lo largo del proceso. Pudiendo mostrarse las gráficas de cada intervalo guardado en el historial, las gráficas se muestran a continuación.

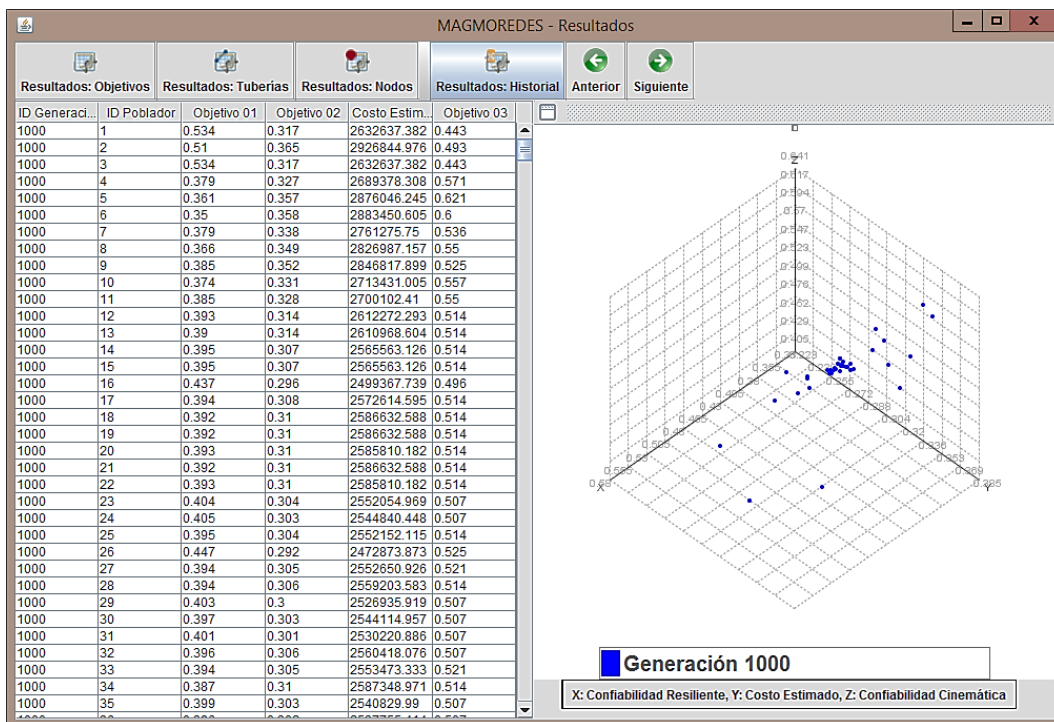


Figura 67: Resultados – Tabla historial de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa

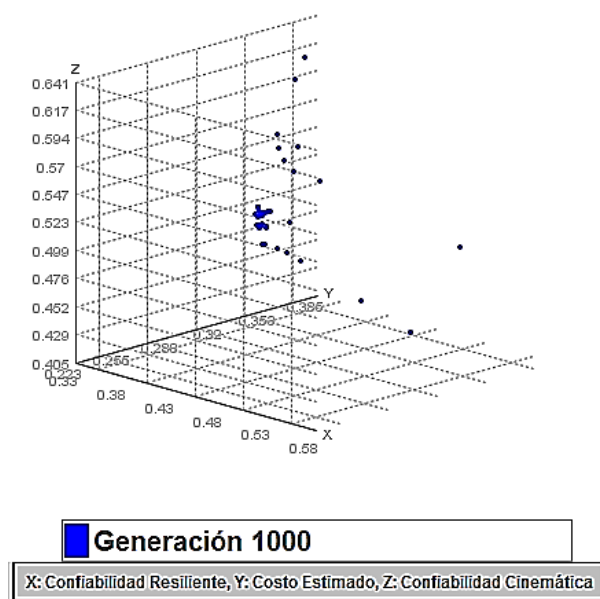


Figura 68: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 1000 del historial de la malla adaptativa

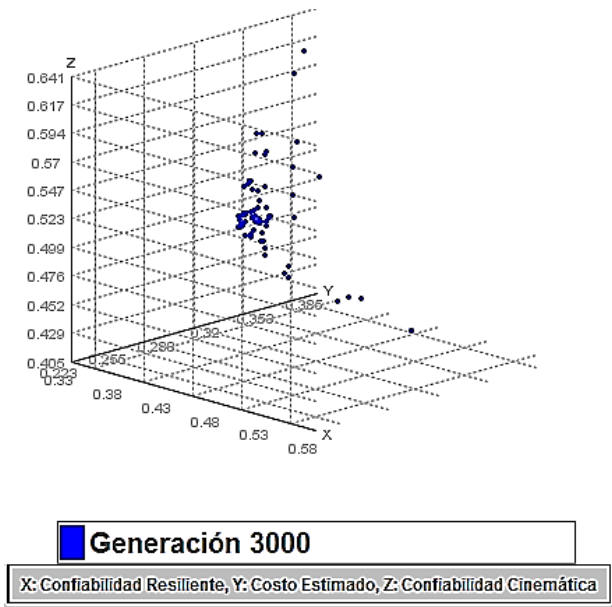


Figura 69: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 3000 del historial de la malla adaptativa

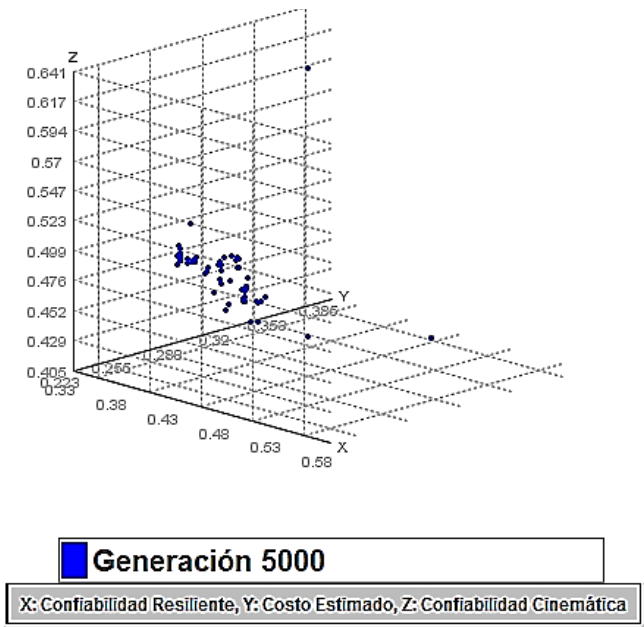


Figura 70: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 5000 del historial de la malla adaptativa

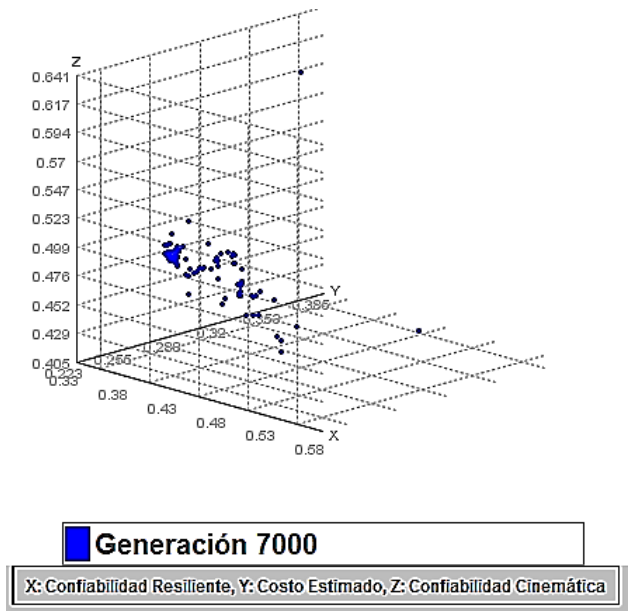


Figura 71: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 7000 del historial de la malla adaptativa

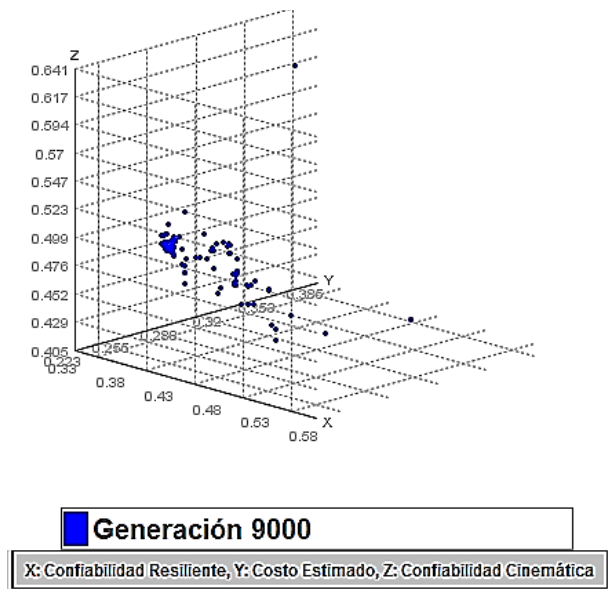


Figura 72: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 9000 del historial de la malla adaptativa

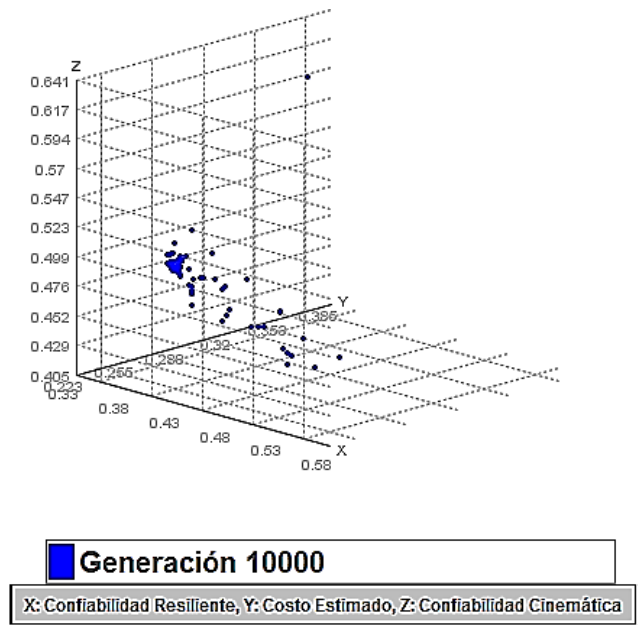


Figura 73: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 10 000 del historial de la malla adaptativa

Por tanto, para una mejor apreciación e interpretación de los resultados del diseño de la red optimizada usando el Software MAGMOREDES vs 1.0 es que se presentan dichos resultados en el Anexo 07-B, 07-C, 07-D.

Asimismo de los individuos o cromosomas que se encuentran en la malla adaptativa y conforman el Frente de Pareto después de las 10 000 iteraciones propuestas podemos notar que existe una variedad de posibles redes, por tanto para su elección el proyectista lo realizará en base a criterios ya sea tomando en cuenta las características socio económicas de la población perteneciente al lugar de estudio, el nivel de demanda de consumo, entre otros factores involucrados. Es por ello que habrá una necesidad de priorizar alguno de los objetivos: la economía (menor costo), la confiabilidad resiliente de la red (red

menos vulnerable a fallas, rupturas o fugas) como también la confiabilidad cinemática (mantener las velocidades en el rango normativo).

Como se puede observar en el Anexo 07-B: MAGMO: Tablas de objetivos resultantes, existe una variedad de redes posibles. Para la zona de estudio se prioriza la confiabilidad resiliente de la red y la confiabilidad cinemática, puesto que existe presupuesto o financiamiento (canon minero) y se pretende dar un servicio eficiente y confiable en el Sector Viñani.

Por consiguiente, se ha elegido el poblador n°45.

4.4.3.1. Costo de la red optimizada

El costo de la RDA optimizada es de S/. 2 204 467,69 (Dos millones doscientos cuatro mil cuatrocientos sesenta y siete con 69/100 nuevos soles), y un respectivo índice de economía de 0,248.

4.4.3.2. Confiabilidad resiliente de la red optimizada

La confiabilidad resiliente de la red optimizada tiene un coeficiente de $I_r = 0,417$. Presenta un índice de confiabilidad de menos de 0,50, lo cual simboliza una red poco vulnerable a todo tipo de fallas (ruptura de tubos, fugas, etc.).

4.4.3.3. Confiabilidad cinemática de la red

La confiabilidad cinemática del sistema tiene un coeficiente de $C_c = 0,493$; medido del 0 al 1, siendo el valor más óptimo el cero; lo cual indica que algunas tuberías de la red tienen velocidades fuera de los rangos preestablecidos. Es decir que se tiene una red de diseño en la cual existen tuberías con velocidades

menores a 0.6 m/s; siendo la velocidad un problema constante y latente en el diseño de redes de agua.

4.5. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR AMBAS MODALIDADES DE DISEÑO

4.5.1. Comparación de los resultados obtenidos de la Red Actual con la Red diseñada considerando tres Funciones Objetivo

Del diseño de la RDA se obtiene:

- Una mejora en la confiabilidad resiliente de la red, la cual aumenta 94%, de 0,70 (sin optimización) a 0,418 (optimizado), considerando que el cero es el valor óptimo para dicha función.
- Un aumento del 45.61% en el costo estimado de S/. 1 311 550,83 (sin optimización) a S/. 1 909 755,22 (optimizado).
- Para el objetivo de confiabilidad cinemática de la red aumenta el Cc de 0,421 (sin optimización) a 0,507 (optimizada), considerando que el cero es el valor óptimo para dicha función; por tanto se tienen velocidades mínimas en ambos casos (menores a 0,6 m/s), más no mayores a 5 m/s, determinando que la velocidad es un problema latente en el diseño de redes de distribución de agua
- Las presiones en los nodos superan la presión mínima establecida en la norma de 10 m en ambos casos.

4.5.2. Comparación de los resultados obtenidos de la Red Actual con la Red diseñada considerando dos Funciones Objetivo

Del diseño de la RDA se obtiene:

- Una mejora en la confiabilidad resiliente de la red, la cual aumenta 103%, de 0,70 (sin optimización) a 0,391 (optimizado), considerando que el cero es el valor óptimo para dicha función.
- Un aumento del 47,44% en el costo estimado de S/. 1 311 550,83 (sin optimización) a S/. 1 933745,61 (optimizado).
- Se tienen velocidades mínimas en ambos casos (menores a 0,6 m/s), más no mayores a 5 m/s, (considerado como una restricción al problema), determinando que la velocidad es un problema latente en el diseño de redes de distribución de agua
- Las presiones en los nodos superan la presión mínima establecida en la norma de 10 m en ambos casos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se aplicaron modelos matemáticos para la determinación de las características hidráulicas de una RDAP usando el Método del Gradiente Hidráulico como motor de cálculo, el cual fue descrito en forma de ecuaciones, luego en forma matricial y posteriormente codificado en código computacional en lenguaje de programación Java.
- Se desarrolló un programa de cómputo desarrollado para la optimización de una red de distribución de agua potable considerando tres funciones objetivo como el aumento de la confiabilidad resiliente, reducción de costos y confiabilidad cinemática. En tal sentido se ha desarrollado un software que denominamos MAGMOREDES v 1.0, para la optimización de redes de distribución de agua en base al micro algoritmo genético teniendo la opción de considerar un diseño con las tres funciones objetivo referidas. El algoritmo permitió determinar un costo estimado y el cálculo de la confiabilidad resiliente y cinemática para ambos casos de la red analizada.
- Se logró evaluar y comparar la red de agua potable existente sin criterios de optimización con la resultante de la aplicación del método de Micro Algoritmos Genéticos con tres funciones objetivo de optimización.

- Se ha logrado implementar un Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo en el desarrollo del software MAGMOREDES para obtener una red de distribución de agua potable en el Sector Viñani optimizada considerando tres funciones objetivo, teniendo un costo estimado de S/. 1 909 755,22, el cual si bien es superior al costo de la red sin optimización de S/. 1 311 550,83, tiene un índice de confiabilidad resiliente optimizado de 0,418, el cual es mucho menor al sin optimización de 0,70; considerando que el cero es el valor óptimo lográndose tener una RDA con menos probabilidad de fallas; y un índice de confiabilidad cinemática optimizado de 0,507, que es mayor al sin optimización de 0,421; considerando el cero el valor más óptimo, lo cual muestra que la velocidad es un problema latente en el diseño de redes de distribución de agua; más se ha logrado optimizar y obtener una red que garantice un mejor servicio a los usuarios finales.
- Asimismo, el software plantea la opción de utilizar dos funciones objetivo de minimización de costo y maximización de la confiabilidad, teniendo un costo de S/. 1 933 745,61; el cual si bien es mayor al del costo sin optimización de S/. 1 311 550,83; tiene un índice de confiabilidad resiliente optimizado de 0,391, valor menor al sin optimización de 0,70.
- Se planteó una red realizando un cálculo nuevo de los parámetros de diseño considerando tres funciones objetivo, teniendo un costo de 2' 204 467,69; un índice de confiabilidad resiliente de 0,417 y un índice de confiabilidad cinemática de 0,493.

- En el programa elaborado se ha logrado aplicar modelos matemáticos para la determinación de las características hidráulicas requeridas para el diseño de una red de distribución de agua, con la capacidad de desarrollar el diseño de redes e incorporar varias fuentes de agua, válvulas reductoras de presión y bombas con sus respectivas curvas de rendimiento.
- El software elaborado MAGMOREDES permitió la optimización de la RDA del Sector Viñani, obteniéndose resultados muy aceptables, los cuales permitieron comprobar que el programa es eficiente en el espacio por tener una menor cantidad de memoria requerida para el cálculo, eficiente en el tiempo por necesitar un mínimo tiempo de ejecución y eficaz al alcanzar los objetivos planteados para la resolución de los diferentes consideraciones de diseño.

5.2. RECOMENDACIONES

- Existe una diversidad de técnicas evolutivas que pueden utilizarse para el cálculo de problemas en diversas áreas de la ingeniería e hidráulica, por ello, se recomienda una mejora del propio algoritmo planteado, buscando un menor tiempo de cálculo (máxima eficiencia) y mayores opciones de caracterización hidráulica (máximo eficacia).
- Se recomienda la incorporación de nuevas alternativas de análisis y diseño del software elaborado con la inclusión de otros tipos de válvulas de control, protección y operación.

- Se recomienda determinar los parámetros del funcionamiento del MAGMO en base a estudios determinados. Los siguientes valores han dado resultados aceptables: tamaño de la población: 50-100, probabilidad de cruce: mayor igual al 60% y probabilidad de mutación: por lo general no supera el 5%.
- Se recomienda considerar como parámetro normativo el índice de resiliencia para el diseño de redes de abastecimiento de agua potable, como valor máximo recomendado de 0.50.
- Incentivas a los estudiantes y egresados de la ESIC, a que continúen en el camino de profundizar y ampliar los conceptos analizados en el presente trabajo, mejorando las potencialidades del software elaborado en la presente Tesis.
- Proponer a las instancias nacionales respectivas la iniciativa de incorporar en el Reglamento Nacional de Edificaciones las técnicas de optimización, cualquiera sea su modalidad, en un claro ímpetu de mejorar el dimensionamiento de las redes de distribución de agua en el país.
- Se recomienda que para futuros trabajos la función de valoración de las velocidades, se diferencie entre las velocidades cercanas a los límites (mínimo y máximo aceptable) y las alejadas de los mismos, pudiendo las primeras tener una mayor valoración, evitando un cambio brusco. Asimismo que la velocidad mínima normativa no sea considerada como límite para la función de confiabilidad, pues como se indica en la presente tesis, es común tener en el diseño de tuberías de agua potable velocidades menores ante un escenario en análisis estático (<0.6 m/s para PVC RNE OS.050).

BIBLIOGRAFÍA

- Chura, A. F. (2012). Diseño Óptimo de una Red de Agua Potable utilizando Algoritmos Genéticos Multiobjetivo: Caso Asentamiento Humano Pampa Alta del Distrito de Ite -Tacna. Tesina Profesional en Ingeniería Civil, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna.
- Condori, F.G. (2013). Diseño Óptimo de Redes de Distribución de Agua usando un Programa de Cómputo basado en Algoritmos Genéticos Multiobjetivo. Tesina Profesional en Ingeniería Civil, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna.
- Coello Coello, Carlos A. (2000). “Notas del curso: Introducción a la Computación Evolutiva”, UADY.
- Coello Coello, Carlos A. (1999). Estudio exhaustivo de la evolución basada en técnicas de optimización multiobjetivo. Conocimiento y sistema de información: Publicado en el ASCE. Pg. 269-308.
- Coello Coello, Carlos A., Toscano Pulido, Gregorio. (2001). “A Micro-Genetic Algorithm for Multiobjective Optimization”, In Eckart Zitzler, Kalyanmoy Deb, Lothar Thiele, Carlos A. Coello Coello, and David Corne, editors, First International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, pages 126-140. Springer-Verlag. Lecture Notes in Computer Science No. 1993.
- Darwin, C. (1859). The Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favored Races in the Struggle for Life. The Book League of America.

- Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna S.A. - EPS Tacna. (2005) Instalación de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado en las Pampas de Viñani – Tacna.
- Espinoza J.M. (2011). Diseño Óptimo de Redes de Distribución de Agua Potable, utilizando Algoritmos Genéticos Multiobjetivo; Caso AA.HH. Puente Camiara – Locumba – Jorge Basadre – Tacna. Tesina Profesional en Ingeniería Civil, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna.
- Goldberg, D.E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Publishing Co.
- Goldberg, D.E. (1991). A comparison of selection schemes used in genetic algorithm. In G.E. Rawlins (ed.), Foundations of Genetic Algorithms. Morgan Kaufmann Publishers, pp. 69-93.
- Holland (1975), John H. "Adaptation in Natural and Artificial Systems", University of Michigan Press, 211 p.
- Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG). (2013). Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú: Fondo Editorial.
- Koza, J.R. (1992). Genetic Programming. On the Programming of Computers by Means of natural Selection. The MIT Press.
- Lawrence Davis. Handbook of Genetic Algorithms. Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- Lawrence J. Fogel. Artificial Intelligence through Simulated Evolution. Fourty years of Evolutionary Programming. John Wiley & Sons, New York, 1999.

- Prasad, T.D., Park. (2004). Multiobjective genetic algorithms for design of water distribution networks. Publicado en Journal of water resources planning and management. Vol 130, p 73-82. Toscano Pulido, Gregorio. (2001). Optimización Multiobjetivo usando un Micro Algoritmo Genético. Tesis de Maestría en Inteligencia Artificial, Universidad Veracruzana – LANIA. México.
- Peña Koo, Jimmy J., Coello Coello, Carlos. (2012). Desarrollo de un Applet en Java del Micro Algoritmo Genético Usando Optimización Multiobjetivo. Tesis Profesional en Computación. Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Saldarriaga, J.G. (2007). Hidráulica de Tuberías de Abastecimiento de Agua, Redes, Riegos. Colombia: Editorial Alfa y Omega.
- Saldarriaga, J.G., Mendoza, F.L.. (2010). Diseño optimizado de redes de distribución de agua potable incluyendo análisis de costo mínimo versus resiliencia de la red. Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Punto del este, Uruguay. Noviembre del 2010.
- Peñuela, C.A., Granada, M. (2007). Optimización Multiobjetivo usando un Algoritmo Genético y un operador elitista basado en un ordenamiento no-dominado NSGA-II, pp. 175-180. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Villalba, G., Saldarriaga, J.G., Takahashi, S. (2005). Algoritmos de Optimización Combinatoria Aplicados al Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable. Conferencia Internacional del Agua 2005.

ANEXOS

ANEXO 01:

CÁLCULOS JUSTIFICATORIOS DE LA DEMANDA DE
LA RED DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR VIÑANI

ANEXO 01
CÁLCULOS JUSTIFICATORIOS DE LA DEMANDA DE LA RED DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR VIÑANI

Nodo	Cota	N° de lotes	Demanda uso de viviendas (l/d)	Demanda Educacion (l/d)	Demanda Areas Verdes	Demanda para otros usos (l/d)	Demanda en Nodos (l/d)	Demanda en Nodos (l/s)
1	465	0	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00
2	468.35	0	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00
3	468.73	0	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00
4	466.74	0	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00
5	462	0	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00
6	460.24	0	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00
7	467.27	39	38980.27	0	1032.09	0.00	40012.36	0.46
8	463.12	39	38980.27	0	1032.09	0.00	40012.36	0.46
9	457.76	187	186905.42	0	2972.16	0.00	189877.58	2.20
10	459.04	145	144926.66	3000	1541.37	2233.63	151701.66	1.76
11	469	109	108944.87	3000	1435.02	4100.77	117480.66	1.36
12	469	129	128934.75	0	3170.40	1387.89	133493.04	1.55
13	459.05	137	136930.71	0	2574.95	0.00	139505.66	1.61
14	458.43	145	144926.66	0	3129.02	0.00	148055.68	1.71
15	469.08	137	136930.71	0	3715.98	1106.01	141752.70	1.64
16	469	140	139929.19	0	0.00	0.00	139929.19	1.62
17	458.11	157	156920.59	4000	0.00	0.00	160920.59	1.86
18	456.23	56.5	56471.42	0	821.41	3019.53	60312.36	0.70
19	457.53	56.5	56471.42	0	821.41	3019.53	60312.36	0.70
20	466.77	128	127935.26	0	7584.54	0.00	135519.80	1.57
21	466.5	216	215890.75	0	0.00	0.00	215890.75	2.50
22	457.32	218	217889.74	0	72270.23	0.00	290159.96	3.36
23	453.8	174	173911.99	0	3340.41	2685.70	179938.10	2.08
24	462.2	201	200898.33	0	1698.73	0.00	202597.07	2.34
25	461.91	170	169914.01	0	0.00	0.00	169914.01	1.97
26	453.55	201	200898.33	4000	0.00	0.00	204898.33	2.37
27	448.57	125	124936.77	0	6112.68	5095.48	136144.94	1.58
28	456.01	170	169914.01	0	0.00	0.00	169914.01	1.97
29	456.94	270	269863.43	0	4731.71	0.00	274595.14	3.18
30	413.8	224	223886.70	0	9654.13	0.00	233540.83	2.70
31	445.81	279	278858.88	0	0.00	0.00	278858.88	3.23
32	446.97	192	191902.89	0	7336.37	120187.20	319426.45	3.70
33	458.56	192	191902.89	5000	0.00	3955.33	200858.22	2.32
34	458.45	194	193901.87	4000	0.00	2567.68	200469.55	2.32
35	446.78	172	171913.00	0	0.00	120187.20	292100.20	3.38
36	446.52	194	193901.87	0	4621.82	0.00	198523.70	2.30
37	457.6	172	171913.00	0	0.00	0.00	171913.00	1.99
38	457.64	164	163917.05	0	0.00	0.00	163917.05	1.90
39	446.62	164	163917.05	0	0.00	0.00	163917.05	1.90
40	444	164	163917.05	0	0.00	0.00	163917.05	1.90
41	452.81	90	89954.48	0	2820.15	0.00	92774.63	1.07
42	455.47	51	50974.20	0	2820.15	0.00	53794.36	0.62
43	415.21	192	191902.89	0	8946.52	0.00	200849.41	2.32
44	452.81	0	0.00	0	76710.18	1233478.42	1310188.60	15.16
45	443.3	242	241877.60	0	0.00	341798.65	583676.24	6.76
46	438.86	196	195900.86	3000	4171.39	1703.87	204776.13	2.37
47	429.28	196	195900.86	0	4171.39	11703.87	211776.13	2.45
48	431.95	242	241877.60	3000	0.00		244877.60	2.83
49	432.26	164	163917.05	7500	5640.31	0.00	177057.36	2.05
50	443.45	164	163917.05	0	0.00	0.00	163917.05	1.90
51	445.83	164	163917.05	5000	0.00	3133.51	172050.56	1.99
52	434.64	164	163917.05	0	0.00	120187.20	284104.25	3.29
53	434.12	152	151923.12	0	4826.81	0.00	156749.93	1.81
54	422.9	158	157920.08	0	0.00	7000.00	164920.08	1.91
55	421.69	158	157920.08	0	0.00	2892.47	160812.55	1.86
56	431.86	152	151923.12	0	0.00	0.00	151923.12	1.76
57	431.45	230	229883.67	0	0.00	0.00	229883.67	2.66
58	421.38	212	211892.77	0	0.00	717.99	212610.76	2.46

59	418.83	172	171913.00	4000	2705.47	1951.86	180570.33	2.09
60	428.82	152	151923.12	0	2317.22	3343.50	157583.84	1.82
61	428.36	155	154921.60	0	3124.72	0.00	158046.32	1.83
62	418.76	141	140928.68	0	2845.94	0.00	143774.63	1.66
63	416.2	130	129934.25	3500	0.00	1306.07	134740.32	1.56
64	425.8	174	173911.99	0	0.00	2514.10	176426.09	2.04
65	426.18	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00
66	415.66	133	132932.73	0	0.00	0.00	132932.73	1.54
67	403.94	180	179908.96	6000	6568.27	201.95	192679.18	2.23
68	431.32	269	268863.94	0	5888.99	60114.70	334867.63	3.88
69	409	109	108944.87	0	0.00	0.00	108944.87	1.26
70	446.3	208	207894.79	0	4107.74	120187.20	332189.74	3.84
71	418.3	116	115941.33	3000	4502.61	1501.14	124945.08	1.45
72	418.3	106	105946.39	0	0.00	0.00	105946.39	1.23
73	425.77	0	0.00	0	0.00	16127.99	16127.99	0.19
74	409.63	140	139929.19	0	10633.58	0.00	150562.77	1.74
75	417.46	99	98949.93	3000	0.00	1947.00	103896.93	1.20
76	425.16	192	191902.89	0	0.00	0.00	191902.89	2.22
77	420.84	99	98949.93	3000	0.00	1947.00	103896.93	1.20
78	455	91	90953.97	0	0.00	0.00	90953.97	1.05
79	445	248	247874.56	7500	0.00	0.00	255374.56	2.96
80	454	91	90953.97	0	0.00	0.00	90953.97	1.05
81	443.97	175	174911.48	0	0.00	0.00	174911.48	2.02
82	445.74	122	121938.29	0	3922.77	0.00	125861.06	1.46
83	443.26	140	139929.19	0	0.00	0.00	139929.19	1.62
84	445.17	140	139929.19	0	4038.53	81988.68	225956.40	2.62
85	435.42	140	139929.19	0	0.00	81988.68	221917.87	2.57
86	433.67	140	139929.19	0	4038.53	0.00	143967.71	1.67
87	433.03	128	127935.26	0	4212.54	0.00	132147.80	1.53
88	434.73	96	95951.44	0	0.00	179115.13	275066.58	3.18
89	424.96	116	115941.33	0	6539.15	67737.54	190218.01	2.20
90	423.01	116	115941.33	0	0.00	0.00	115941.33	1.34
91	422.36	224	223886.70	0	9654.13	0.00	233540.83	2.70
TOTAL			12923460.00	71500	324803.63	2614134.47	15933898.09	184.42

ANEXO 02:

JUSTIFICACIÓN DE LA VALIDEZ DEL SOFTWARE

MAGMOREDES

JUSTIFICACIÓN DE LA VALIDEZ DEL SOFTWARE MAGMOREDES

1. Se procede al modelamiento de la red ejemplo N°1.

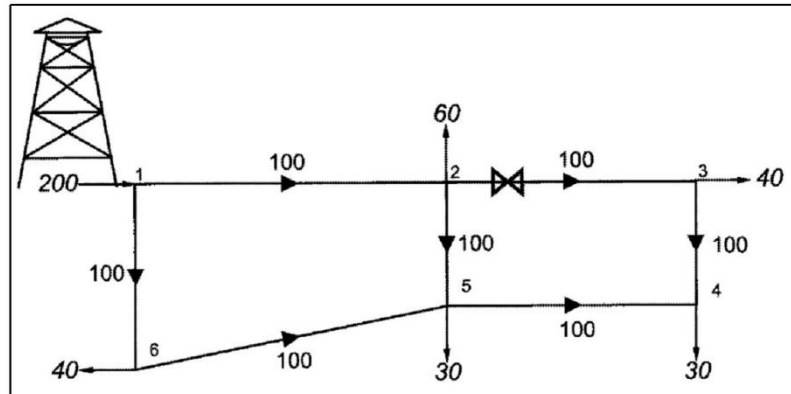


Figura 1: Red ejemplo 01, pag. 427

Fuente: Hidráulica de Tuberías Juan Saldarriaga

Siendo los datos iniciales

- Cotas en los nodos con altura piezométrica desconocida: 0 en todos los nodos
- Cota en reservorio: 100

Solución

Para todos los tramos de tuberías se ha supuesto un caudal inicial de 100 lt/s con las direcciones mostradas en la Figura 1, las cuales fueron supuestas en forma arbitraria. Durante el desarrollo del ejemplo las presiones están dadas en metros y los caudales en m³/s. Los caudales demandados en los nodos y caudales iniciales en las tuberías todos en 100 lt/s.

Para realizar el cálculo de las presiones y caudales en la red es necesario efectuar el siguiente planteamiento de matrices y vectores, teniendo en cuenta que:

$$NT = 7$$

$$NN = 5$$

$$NS = 1$$

Realizando las iteraciones y desarrollando el algoritmo del método del gradiente mostrado en el libro de Saldarriaga es que se obtiene los resultados de caudales finales en las tuberías y alturas piezométricas en los nodos.

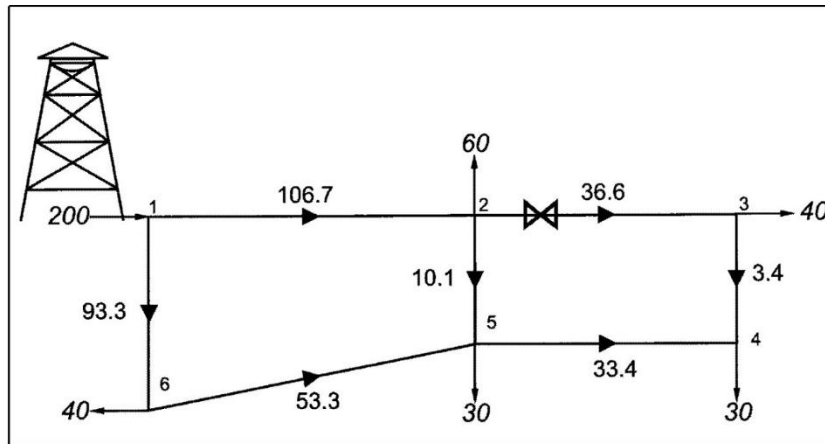


Figura 2: Resultados de los caudales en cada una de las tuberías de la red cerrada. Todos los caudales están en l/s.

Fuente: Hidráulica de Tuberías Juan Saldarriaga

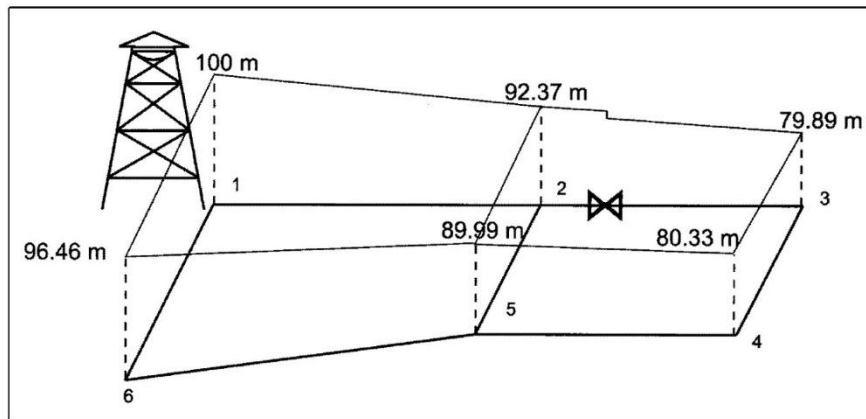


Figura 3: Resultados de las alturas piezométricas en cada uno de los nodos de la red cerrada.

Fuente: Hidráulica de Tuberías Juan Saldarriaga

El Método del Gradiente es tan poderoso que puede resolver la hidráulica de cualquier tipo de tuberías, desde una tubería simple hasta la red de distribución más compleja.

2. Cálculo de la Red usando el Módulo Método del Gradiente con el Software Magmoredes

2.1. Dibujo de la Red

El software permite el ingreso gráfico de los elementos de la red, por lo que se procedió a modelar los nodos, tuberías, reservorio y VRP existente en la red.

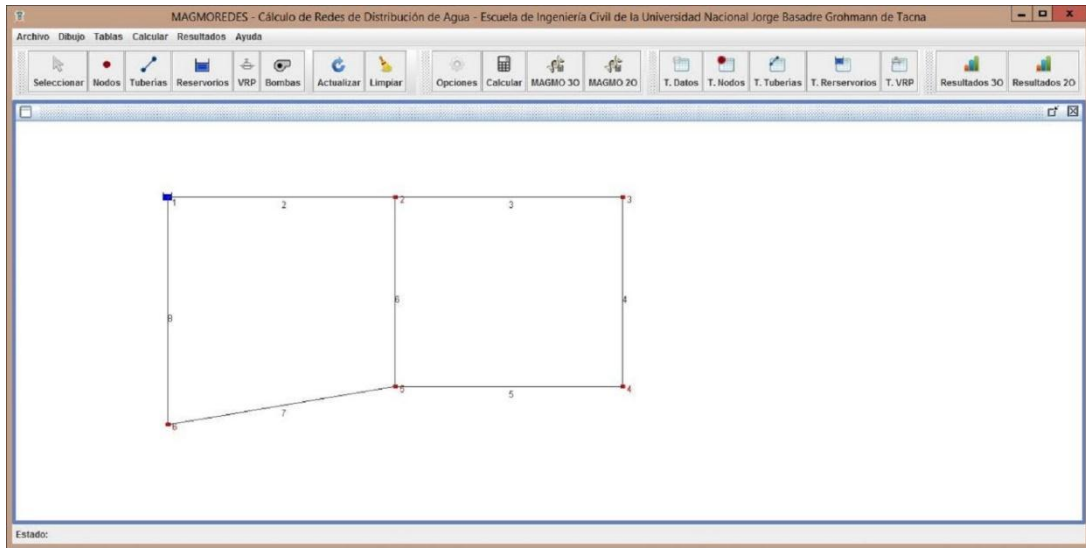


Figura 4: Área y elementos de dibujo

2.2. Completado de datos

Una vez dibujada la red, se procede a completar la información de los elementos modelados mediante las tablas respectivas (tabla de nodos, tabla de tuberías, tabla de reservorios y tabla de VRP).

En la tabla de nodos, se procede a completar los datos de etiqueta, caudal de demanda y cota.

Tabla de datos - Nodos							
Id	Etiqueta	Caudal de Demanda (l/s)	Cota (m)	Presión (mca)	AlturaPiezometrica (m)	X	Y
2	n-2	60.0	0.0	0.0	0.0	500.0	100.0
3	n-3	40.0	0.0	0.0	0.0	800.0	100.0
4	n-4	30.0	0.0	0.0	0.0	800.0	350.0
5	n-5	30.0	0.0	0.0	0.0	500.0	350.0
6	n-6	40.0	0.0	0.0	0.0	200.0	400.0

Figura 5: Tabla de datos - Nodos

En la tabla de tuberías, se procede a completar los datos de etiqueta, longitud, diámetros y coeficiente de rugosidad.

Id	Etiqueta	Longitud (m)	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	C. Rugosidad	Viscosidad	Válvula Check?	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
1	1	500.0	-1	2	254.0	null	0.06	0.0	0	0.0	0.0
2	2	400.0	2	3	152.4	null	0.06	0.0	0	0.0	0.0
3	3	200.0	4	3	101.6	null	0.06	0.0	0	0.0	0.0
4	4	400.0	5	4	152.4	null	0.06	0.0	0	0.0	0.0
5	5	200.0	2	5	101.6	null	0.06	0.0	0	0.0	0.0
6	6	600.0	6	5	203.2	null	0.06	0.0	0	0.0	0.0
7	7	300.0	-1	6	254.0	null	0.06	0.0	0	0.0	0.0

Figura 6: Tabla de datos – Tuberías

En la tabla de reservorios, se procede a completar los datos de etiqueta, elevación y altura piezométrica.

Id	Etiqueta	Elevación (m)	Altura Piezométrica (m)	X	Y
1	R-1	100.0	100.0	200.0	100.0

Figura 7: Tabla de datos – Reservorios

En la tabla de VRP, se procede a completar los datos de coeficiente Km, ubicación en la tubería

Id	Etiqueta	Distancia(m)	Diámetro (m)	Coficiente km	Tubería
1	V-1	250.0	0.1524	10.0	2

Figura 8: Tabla de datos – Válvula Reductora de Presión VRP

2.3. Cálculo de la Red

Para el cálculo de la red, se procede a definir los parámetros de cálculo. Para el Método del Gradiente, se procede a definir la tolerancia de error y la viscosidad cinemática del fluido.

Funciones Objetivo: Costo de las Tuberías	Funciones Objetivo: Parámetros
Método de la Gradiente: Parámetro	
Tolerancia de error	0.00001
Viscosidad cinemática del fluido (m2/s):	0.00000114
RESULTADOS:	
- Objetivo 01 - Confiabilidad de la Red:	
- Objetivo 02 - Costo Estimado de la Red:	
- Objetivo 03 - Confiabilidad Cinemática de la Red:	
Calcular	

Figura 9: Configuración para el cálculo de redes – Parámetros del método de la gradiente

Para realizar el cálculo de los 03 objetivos (confiabilidad resiliente, costo estimado, confiabilidad cinemática). Para lo cual se definen sus parámetros para cada objetivo.

Funciones Objetivo: Costo de las Tuberías	Funciones Objetivo: Parámetros
Objetivo 01: Confiabilidad de la Red	
Presión Mínima de Servicio (mca):	10.00
Objetivo 02: Costo de la Red	
<input type="radio"/> Estimar costo de la red del costo por metro lineal de tubería	
<input checked="" type="radio"/> Estimar costo de la red mediante los coeficientes de la función costo	
Coeficiente A:	0.01
Coeficiente B:	1.6948
Objetivo 03: Confiabilidad Cinemática	
Velocidad Mínima (m/s):	0.60
Velocidad Máxima Recomendable (m/s):	3.00
Velocidad Máxima Admitida (m/s):	5.00
Calcular	

Figura 10: Configuración para el cálculo de redes – Parámetros de las funciones objetivo

Una vez definidos los parámetros, se procede a calcular la red.

2.4. Resultados

Finalizando el proceso se presentan en la ventana de cálculo los resultados referentes a los 03 objetivos.

CALCULO DE REDES

Funciones Objetivo: Costo de las Tuberías

Método de la Gradiente: Parámetro Funciones Objetivo: Parámetros

Tolerancia de error:

Viscosidad cinemática del fluido (m²/s):

RESULTADOS:

- Objetivo 01 - Confiabilidad de la Red:

- Objetivo 02 - Costo Estimado de la Red:

- Objetivo 03 - Confiabilidad Cinemática de la Red:

Figura 11: Resultados del cálculo de redes - Objetivos

Los resultados referentes a los nodos de la red como son sus presiones y altura piezométrica, se muestran en la Tabla de datos – Nodos.

Tabla de datos - Nodos

Archivo Edición Ayuda								
Id	Etiqueta	Caudal de Demanda (l/s)	Cota (m)	Presión (mca)	AlturaPiezometrica (m)	X	Y	
2	n-2	60.0	0.0	92.97	92.97	500.0	100.0	
3	n-3	40.0	0.0	81.375	81.375	800.0	100.0	
4	n-4	30.0	0.0	81.8	81.8	800.0	350.0	
5	n-5	30.0	0.0	89.821	89.821	500.0	350.0	
6	n-6	40.0	0.0	96.73	96.73	200.0	400.0	

Figura 12: Resultados del cálculo de redes – Tabla de nodos

Los resultados referentes a las tuberías de la red como son los caudales y velocidades, se muestran en la Tabla de datos – Tuberías.

Tabla de datos - Tuberías												
Archivo Edición Ayuda												
Id	Etiqueta	Longitud (m)	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	C. Rugosidad (mm)	Viscosidad...	Válvula Che...	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	...
1	1	500.0	-1	2	254.0		0.06	0.0	0	106.646	2.105	...
2	2	400.0	2	3	152.4		0.06	0.0	0	36.592	2.006	...
3	3	200.0	4	3	101.6		0.06	0.0	0	3.408	0.42	...
4	4	400.0	5	4	152.4		0.06	0.0	0	33.408	1.831	...
5	5	200.0	2	5	101.6		0.06	0.0	0	10.053	1.244	...
6	6	600.0	6	5	203.2		0.06	0.0	0	63.354	1.644	...
7	7	300.0	-1	6	254.0		0.06	0.0	0	93.354	1.842	...

Figura 13: Resultados del cálculo de redes – Tabla de Tuberías

ANEXO 03:

- ANEXO 03-A : CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA RED DE VIÑANI EN GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA.
- ANEXO 03-B : CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA CIRCULANTE EN LAS TUBERÍAS DE LA RED DE VIÑANI EN GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA.

ANEXO 03-A
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA RED DE VIÑANI EN GREGORIO ALBARRACIN L.

Tubería	Longitud (m)	Nodo i	Nodo f	Diametro (mm)	Diametro Interior (mm)
T-1	353.98	1	2	350	329.2
T-2	426.62	2	3	350	329.2
T-3	308.48	3	4	315	292.2
T-4	487.19	4	5	315	292.2
T-5	563.69	5	6	315	292.2
T-6	19.64	1	7	160	148.4
T-7	208.61	7	8	110	102
T-8	211.23	8	9	110	102
T-9	524.28	9	10	110	102
T-10	370.91	11	10	110	102
T-11	21.81	2	12	200	185.4
T-12	24.81	11	12	110	102
T-13	374.33	12	13	160	148.4
T-14	25.10	10	13	110	102
T-15	397.19	13	14	110	102
T-16	429.96	15	14	110	102
T-17	25.50	15	16	160	148.4
T-18	25.85	3	16	200	185.4
T-19	433.75	16	17	160	148.4
T-20	24.33	14	17	110	102
T-21	282.69	17	18	110	102
T-22	282.17	16	20	110	102
T-23	414.12	20	19	110	102
T-24	89.94	19	18	110	102
T-25	162.74	19	41	110	102
T-26	27.21	19	22	160	148.4
T-27	25.51	4	21	160	148.4
T-28	412.55	21	22	160	148.4
T-29	418.11	22	23	110	102
T-30	487.13	21	24	110	102
T-31	27.61	5	24	160	148.4
T-32	416.73	24	23	110	102
T-33	25.07	24	25	160	148.4
T-34	417.16	25	26	110	102
T-35	357.02	26	27	110	102
T-36	374.81	25	28	110	102
T-37	417.20	28	27	110	102
T-38	24.71	9	29	110	102
T-39	452.56	29	31	110	102
T-40	541.75	31	32	110	102
T-41	534.02	29	33	160	148.4
T-42	437.71	33	32	110	102
T-43	24.38	33	34	160	148.4
T-44	23.82	13	34	160	148.4
T-45	437.64	34	35	110	102
T-46	24.00	32	35	110	102
T-47	398.23	35	36	110	102
T-48	398.03	34	37	160	148.4
T-49	25.76	37	38	160	148.4

ANEXO 03-A**CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA RED DE VIÑANI EN GREGORIO ALBARRACIN L.**

Tuberia	Longitud (m)	Nodo i	Nodo f	Diametro (mm)	Diametro Interior (mm)
T-50	22.63	14	37	110	102
T-51	438.99	37	36	110	102
T-52	23.57	36	39	110	102
T-53	21.50	17	38	160	148.4
T-54	439.01	38	39	110	102
T-55	364.18	39	40	110	102
T-56	285.88	38	42	160	148.4
T-57	117.34	42	41	110	102
T-58	364.40	41	40	110	102
T-59	161.98	22	44	160	148.4
T-60	393.05	44	45	160	148.4
T-61	24.00	40	50	110	102
T-62	23.93	31	79	110	102
T-63	813.04	79	68	110	102
T-64	532.68	79	70	110	102
T-65	24.10	32	70	110	102
T-66	598.69	70	68	110	102
T-67	24.10	39	51	110	102
T-68	438.00	51	52	110	102
T-69	363.83	52	49	110	102
T-70	364.07	51	50	110	102
T-71	483.00	50	49	110	102
T-72	20.00	50	45	160	148.4
T-73	483.00	45	48	110	102
T-74	24.00	49	48	110	102
T-75	389.97	48	47	110	102
T-76	389.97	45	46	110	102
T-77	483.00	46	47	110	102
T-78	363.61	47	65	110	102
T-79	24.11	52	53	110	102
T-80	407.26	53	54	110	102
T-81	365.94	54	55	110	102
T-82	24.00	49	56	110	102
T-83	415.00	56	55	110	102
T-84	24.00	56	57	110	102
T-85	415.00	57	58	110	102
T-86	24.00	55	58	110	102
T-87	389.97	58	59	110	102
T-88	389.97	57	60	110	102
T-89	24.00	47	60	110	102
T-90	24.48	60	61	110	102
T-91	338.14	61	64	110	102
T-92	20.48	65	64	110	102
T-93	411.98	64	63	110	102
T-94	25.89	59	62	110	102
T-95	324.69	62	63	110	102
T-96	24.00	58	77	110	102
T-97	154.45	77	75	110	102
T-98	455.37	75	74	110	102

ANEXO 03-A**CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA RED DE VIÑANI EN GREGORIO ALBARRACIN L.**

Tuberia	Longitud (m)	Nodo i	Nodo f	Diametro (mm)	Diametro Interior (mm)
T-99	24.00	59	72	110	102
T-100	362.78	72	74	110	102
T-101	26.09	74	69	110	102
T-102	24.53	72	71	110	102
T-103	23.83	62	71	110	102
T-104	375.23	71	69	110	102
T-105	379.94	69	67	110	102
T-106	323.91	71	66	110	102
T-107	23.90	63	66	110	102
T-108	498.71	66	67	110	102
T-109	20.76	28	78	110	102
T-110	545.77	78	82	110	102
T-111	273.70	82	81	110	102
T-112	98.34	78	80	110	102
T-113	462.12	80	81	110	102
T-114	24.00	81	83	110	102
T-115	24.00	82	84	110	102
T-116	273.70	83	84	110	102
T-117	398.34	84	85	110	102
T-118	397.71	83	86	110	102
T-119	273.70	86	85	110	102
T-120	27.04	86	87	110	102
T-121	398.14	87	90	110	102
T-122	398.14	88	89	110	102
T-123	273.70	90	89	110	102
T-124	224.45	89	73	110	102
T-125	209.02	73	65	110	102
T-126	24.00	90	91	110	102
T-127	376.94	91	30	110	102
T-128	498.25	91	76	110	102
T-129	24.92	73	76	110	102
T-130	377.57	76	43	110	102
T-131	498.25	30	43	110	102
T-132	327.74	6	80	110	102
T-133	328.64	7	11	110	102
T-134	400.84	12	15	110	102
T-135	363.83	53	56	110	102
T-136	415.00	60	59	110	102
T-137	411.77	61	62	110	102
T-138	389.97	72	77	110	102
T-139	273.70	87	88	110	102
T-140	26.32	20	21	110	102

ANEXO 03-B

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA CIRCULANTE EN LAS TUBERÍAS DE LA RED DE VIÑANI EN GREGORIO A. L.

Tubería	Longitud (m)	Nodo i	Nodo f	Diametro (mm)	Diametro Interior (mm)	Material	Rugosidad (mm)	Viscosidad (m ² /s)
T-1	353.98	1	2	350	329.2	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-2	426.62	2	3	350	329.2	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-3	308.48	3	4	315	292.2	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-4	487.19	4	5	315	292.2	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-5	563.69	5	6	315	292.2	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-6	19.64	1	7	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-7	208.61	7	8	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-8	211.23	8	9	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-9	524.28	9	10	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-10	370.91	11	10	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-11	21.81	2	12	200	185.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-12	24.81	11	12	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-13	374.33	12	13	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-14	25.10	10	13	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-15	397.19	13	14	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-16	429.96	15	14	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-17	25.50	15	16	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-18	25.85	3	16	200	185.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-19	433.75	16	17	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-20	24.33	14	17	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-21	282.69	17	18	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-22	282.17	16	20	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-23	414.12	20	19	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-24	89.94	19	18	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-25	162.74	19	41	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-26	27.21	19	22	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-27	25.51	4	21	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-28	412.55	21	22	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-29	418.11	22	23	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-30	487.13	21	24	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-31	27.61	5	24	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-32	416.73	24	23	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-33	25.07	24	25	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-34	417.16	25	26	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-35	357.02	26	27	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-36	374.81	25	28	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-37	417.20	28	27	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-38	24.71	9	29	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-39	452.56	29	31	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-40	541.75	31	32	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-41	534.02	29	33	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-42	437.71	33	32	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-43	24.38	33	34	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-44	23.82	13	34	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-45	437.64	34	35	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-46	24.00	32	35	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-47	398.23	35	36	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-48	398.03	34	37	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-49	25.76	37	38	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-50	22.63	14	37	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06

ANEXO 03-B

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA CIRCULANTE EN LAS TUBERÍAS DE LA RED DE VIÑANI EN GREGORIO A. L.

Tubería	Longitud (m)	Nodo i	Nodo f	Diametro (mm)	Diametro Interior (mm)	Material	Rugosidad (mm)	Viscosidad (m ² /s)
T-51	438.99	37	36	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-52	23.57	36	39	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-53	21.50	17	38	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-54	439.01	38	39	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-55	364.18	39	40	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-56	285.88	38	42	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-57	117.34	42	41	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-58	364.40	41	40	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-59	161.98	22	44	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-60	393.05	44	45	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-61	24.00	40	50	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-62	23.93	31	79	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-63	813.04	79	68	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-64	532.68	79	70	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-65	24.10	32	70	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-66	598.69	70	68	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-67	24.10	39	51	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-68	438.00	51	52	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-69	363.83	52	49	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-70	364.07	51	50	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-71	483.00	50	49	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-72	20.00	50	45	160	148.4	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-73	483.00	45	48	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-74	24.00	49	48	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-75	389.97	48	47	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-76	389.97	45	46	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-77	483.00	46	47	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-78	363.61	47	65	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-79	24.11	52	53	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-80	407.26	53	54	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-81	365.94	54	55	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-82	24.00	49	56	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-83	415.00	56	55	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-84	24.00	56	57	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-85	415.00	57	58	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-86	24.00	55	58	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-87	389.97	58	59	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-88	389.97	57	60	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-89	24.00	47	60	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-90	24.48	60	61	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-91	338.14	61	64	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-92	20.48	65	64	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-93	411.98	64	63	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-94	25.89	59	62	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-95	324.69	62	63	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-96	24.00	58	77	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-97	154.45	77	75	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-98	455.37	75	74	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-99	24.00	59	72	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06

ANEXO 03-B

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA CIRCULANTE EN LAS TUBERÍAS DE LA RED DE VIÑANI EN GREGORIO A. L.

Tubería	Longitud (m)	Nodo i	Nodo f	Diametro (mm)	Diametro Interior (mm)	Material	Rugosidad (mm)	Viscosidad (m ² /s)
T-100	362.78	72	74	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-101	26.09	74	69	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-102	24.53	72	71	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-103	23.83	62	71	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-104	375.23	71	69	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-105	379.94	69	67	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-106	323.91	71	66	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-107	23.90	63	66	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-108	498.71	66	67	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-109	20.76	28	78	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-110	545.77	78	82	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-111	273.70	82	81	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-112	98.34	78	80	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-113	462.12	80	81	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-114	24.00	81	83	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-115	24.00	82	84	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-116	273.70	83	84	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-117	398.34	84	85	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-118	397.71	83	86	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-119	273.70	86	85	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-120	27.04	86	87	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-121	398.14	87	90	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-122	398.14	88	89	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-123	273.70	90	89	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-124	224.45	89	73	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-125	209.02	73	65	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-126	24.00	90	91	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-127	376.94	91	30	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-128	498.25	91	76	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-129	24.92	73	76	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-130	377.57	76	43	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-131	498.25	30	43	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-132	327.74	6	80	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-133	328.64	7	11	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-134	400.84	12	15	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-135	363.83	53	56	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-136	415.00	60	59	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-137	411.77	61	62	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-138	389.97	72	77	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-139	273.70	87	88	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06
T-140	26.32	20	21	110	102	PVC	0.0015	1.14 E-06

ANEXO 04:

- ANEXO 04-A: TABLA DE NODOS: DATOS Y RESPUESTAS.
- ANEXO 04-B: TABLA DE TUBERÍAS: DATOS Y RESPUESTAS.
- ANEXO 04-C: TABLA DE RESERVORIOS: DATOS
- ANEXO 04-D: COTAS HIDRÁULICAS Y PRESIONES EN LOS NODOS DE LA RDA ACTUAL DETERMINADOS EN EL PROGRAMA WATERGEMS.
- ANEXO 04-E: DIÁMETROS, VELOCIDAD Y CAUDAL EN LAS TUBERÍAS DE LA RDA ACTUAL DETERMINADOS EN EL PROGRAMA WATERGEMS

ANEXO 04-A
TABLA DE NODOS: DATOS Y RESPUESTAS

ID	Etiqueta	Caudal de Demanda (l/s)	Cota (m)	Presión (mca)	Altura Piezométrica (mca)	X	Y
2	N-2	0.00	468.35	12.948	481.298	568	74
3	N-3	0.00	468.73	10.741	479.471	461	69
4	N-4	0.00	466.74	11.577	478.317	384	66
5	N-5	0.00	462.00	15.718	477.718	262	61
6	N-6	0.00	460.24	17.387	477.627	131	10
7	N-7	0.46	467.27	16.472	483.742	656	83
8	N-8	0.46	463.12	16.108	479.228	694	110
9	N-9	2.20	457.76	17.181	474.941	713	159
10	N-10	1.76	459.04	16.165	475.205	582	172
11	N-11	1.36	469.00	11.998	480.998	574	80
12	N-12	1.55	469.00	12.08	481.08	567	80
13	N-13	1.61	459.05	15.951	475.001	576	173
14	N-14	1.71	458.43	15.656	474.086	477	183
15	N-15	1.64	469.08	10.144	479.224	467	76
16	N-16	1.62	469.00	10.243	479.243	461	75
17	N-17	1.86	458.11	15.933	474.043	471	183
18	N-18	0.70	456.23	16.283	472.513	401	190
19	N-19	0.70	457.53	14.592	472.122	386	176
20	N-20	1.57	466.77	10.829	477.599	390	72
21	N-21	2.50	466.50	11.208	477.708	384	72
22	N-22	3.36	457.32	14.737	472.057	379	175
23	N-23	2.08	453.80	20.14	473.94	275	171
24	N-24	2.34	462.20	15.078	477.278	262	68
25	N-25	1.97	461.91	15.134	477.044	256	69
26	N-26	2.37	453.55	19.552	473.102	269	172
27	N-27	1.58	448.57	22.687	471.257	176	184
28	N-28	1.97	456.01	14.008	470.018	163	80
29	N-29	3.18	456.94	17.543	474.483	716	164
30	N-30	2.70	413.80	34.966	448.766	12	488
31	N-31	3.23	445.81	23.507	469.317	728	275
32	N-32	3.70	446.97	22.298	469.268	594	287
33	N-33	2.32	458.56	15.926	474.486	583	178
34	N-34	2.32	458.45	16.111	474.561	577	179
35	N-35	3.38	446.78	22.482	469.262	588	288
36	N-36	2.30	446.52	19.857	466.377	489	297
37	N-37	1.99	457.60	16.273	473.873	478	188
38	N-38	1.90	457.64	16.224	473.864	471	189
39	N-39	1.90	446.62	18.999	465.619	483	298
40	N-40	1.90	444.00	19.972	463.972	392	307
41	N-41	1.07	452.81	18.859	471.669	383	216
42	N-42	0.62	455.47	17.713	473.183	400	196
43	N-43	2.32	415.21	33.56	448.77	131	524
44	N-44	15.16	452.81	14.868	467.678	377	216
45	N-45	6.76	443.30	19.865	463.165	387	314
46	N-46	2.37	438.86	17.512	456.372	290	323
47	N-47	2.45	429.28	21.505	450.785	301	432

ANEXO 04-A
TABLA DE NODOS: DATOS Y RESPUESTAS

ID	Etiqueta	Caudal de Demanda (l/s)	Cota (m)	Presión (mca)	Altura Piezométrica (mca)	X	Y
48	N-48	2.83	431.95	21.03	452.98	398	423
49	N-49	2.05	432.26	20.66	452.92	404	422
50	N-50	1.90	443.45	19.734	463.184	393	313
51	N-51	1.99	445.83	18.559	464.389	483	304
52	N-52	3.29	434.64	18.399	453.039	494	413
53	N-53	1.81	434.12	18.601	452.721	495	419
54	N-54	1.91	422.90	28.142	451.042	505	520
55	N-55	1.86	421.69	28.682	450.372	414	531
56	N-56	1.76	431.86	20.31	452.17	404	428
57	N-57	2.66	431.45	20.282	451.732	398	429
58	N-58	2.46	421.38	28.833	450.213	408	532
59	N-59	2.09	418.83	30.874	449.704	311	541
60	N-60	1.82	428.82	21.712	450.532	301	438
61	N-61	1.83	428.36	21.957	450.317	295	440
62	N-62	1.66	418.76	30.924	449.684	305	542
63	N-63	1.56	416.20	33.363	449.563	224	550
64	N-64	2.04	425.80	23.955	449.755	211	448
65	N-65	0.00	426.18	23.576	449.756	210	443
66	N-66	1.54	415.66	33.894	449.554	225	556
67	N-67	2.23	403.94	45.495	449.435	241	679
68	N-68	3.88	431.32	37.368	468.688	610	442
69	N-69	1.26	409.00	40.552	449.552	319	640
70	N-70	3.84	446.30	22.865	469.165	594	293
71	N-71	1.45	418.30	31.366	449.666	306	548
72	N-72	1.23	418.30	31.384	449.684	312	547
73	N-73	0.19	425.77	23.5	449.27	160	428
74	N-74	1.74	409.63	39.931	449.561	325	636
75	N-75	1.20	417.46	32.375	449.835	420	574
76	N-76	2.22	425.16	24.031	449.191	158	434
77	N-77	1.20	420.84	29.227	450.067	409	538
78	N-78	1.05	455.00	14.482	469.482	158	81
79	N-79	2.96	445.00	24.213	469.213	727	281
80	N-80	1.05	454.00	15.468	469.468	137	79
81	N-81	2.02	443.97	14.425	458.395	103	190
82	N-82	1.46	445.74	12.651	458.391	169	210
83	N-83	1.62	443.26	14.719	457.979	102	196
84	N-84	2.62	445.17	12.813	457.983	167	215
85	N-85	2.57	435.42	18.526	453.946	138	311
86	N-86	1.67	433.67	18.806	452.476	73	291
87	N-87	1.53	433.03	18.737	451.767	70	297
88	N-88	3.18	434.73	15.339	450.069	135	317
89	N-89	2.20	424.96	24.352	449.312	106	412
90	N-90	1.34	423.01	26.296	449.306	41	392
91	N-91	2.70	422.36	26.839	449.199	39	398

ANEXO 04-B

TABLA DE TUBERÍAS: DATOS Y RESPUESTAS

ID	Etiqueta	Longitud (m)	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	C. Rugosidad (mm)	Viscosidad Cinemática (m ² /s)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
1	T-1	353.98	-1	2	329.2	PVC	0.0015	1.14E-06	163.097	1.916
2	T-2	426.62	2	3	329.2	PVC	0.0015	1.14E-06	121.012	1.422
3	T-3	308.48	3	4	292.2	PVC	0.0015	1.14E-06	81.849	1.221
4	T-4	487.19	4	5	292.2	PVC	0.0015	1.14E-06	44.262	0.66
5	T-5	563.69	5	6	292.2	PVC	0.0015	1.14E-06	14.186	0.212
6	T-6	19.64	-1	7	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	21.313	1.232
7	T-7	208.61	7	8	102	PVC	0.0015	1.14E-06	13.126	1.606
8	T-8	211.23	8	9	102	PVC	0.0015	1.14E-06	12.666	1.55
9	T-9	524.28	9	10	102	PVC	0.0015	1.14E-06	-1.583	0.193
10	T-10	370.91	11	10	102	PVC	0.0015	1.14E-06	10.952	1.34
11	T-11	21.81	2	12	185.4	PVC	0.0015	1.14E-06	42.085	1.559
12	T-12	24.81	11	12	102	PVC	0.0015	1.14E-06	-4.585	0.561
13	T-13	374.33	12	13	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	30.395	1.757
14	T-14	25.1	10	13	102	PVC	0.0015	1.14E-06	7.609	0.931
15	T-15	397.19	13	14	102	PVC	0.0015	1.14E-06	3.752	0.459
16	T-16	429.96	15	14	102	PVC	0.0015	1.14E-06	9.436	1.155
17	T-17	25.5	15	16	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	-5.521	0.319
18	T-18	25.85	3	16	185.4	PVC	0.0015	1.14E-06	39.164	1.451
19	T-19	433.75	16	17	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	25.702	1.486
20	T-20	24.33	14	17	102	PVC	0.0015	1.14E-06	3.22	0.394
21	T-21	282.69	17	18	102	PVC	0.0015	1.14E-06	6.064	0.742
22	T-22	282.17	16	20	102	PVC	0.0015	1.14E-06	6.32	0.774
23	T-23	414.12	20	19	102	PVC	0.0015	1.14E-06	9.984	1.222
24	T-24	89.94	19	18	102	PVC	0.0015	1.14E-06	-5.364	0.656
25	T-25	162.74	19	41	102	PVC	0.0015	1.14E-06	4.173	0.511
26	T-26	27.21	19	22	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	10.476	0.606
27	T-27	25.51	4	21	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	37.586	2.173
28	T-28	412.55	21	22	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	27.67	1.6
29	T-29	418.11	22	23	102	PVC	0.0015	1.14E-06	-5.469	0.669
30	T-30	487.13	21	24	102	PVC	0.0015	1.14E-06	2.182	0.268
31	T-31	27.61	5	24	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	30.076	1.739
32	T-32	416.73	24	23	102	PVC	0.0015	1.14E-06	7.549	0.924
33	T-33	25.07	24	25	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	22.369	1.293
34	T-34	417.16	25	26	102	PVC	0.0015	1.14E-06	8.279	1.013
35	T-35	357.02	26	27	102	PVC	0.0015	1.14E-06	5.909	0.723
36	T-36	374.81	25	28	102	PVC	0.0015	1.14E-06	12.12	1.483
37	T-37	417.2	28	27	102	PVC	0.0015	1.14E-06	-4.329	0.53
38	T-38	24.71	9	29	102	PVC	0.0015	1.14E-06	12.049	1.474
39	T-39	452.56	29	31	102	PVC	0.0015	1.14E-06	9.198	1.126
40	T-40	541.75	31	32	102	PVC	0.0015	1.14E-06	0.595	0.073
41	T-41	534.02	29	33	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	-0.329	0.019
42	T-42	437.71	33	32	102	PVC	0.0015	1.14E-06	9.424	1.153
43	T-43	24.38	33	34	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	-12.073	0.698
44	T-44	23.82	13	34	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	32.641	1.887
45	T-45	437.64	34	35	102	PVC	0.0015	1.14E-06	9.505	1.163
46	T-46	24	32	35	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.012	0.124
47	T-47	398.23	35	36	102	PVC	0.0015	1.14E-06	7.137	0.873
48	T-48	398.03	34	37	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	8.743	0.505
49	T-49	25.76	37	38	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	3.503	0.202
50	T-50	22.63	14	37	102	PVC	0.0015	1.14E-06	8.258	1.011
51	T-51	438.99	37	36	102	PVC	0.0015	1.14E-06	11.508	1.408
52	T-52	23.57	36	39	102	PVC	0.0015	1.14E-06	16.346	2
53	T-53	21.5	17	38	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	20.998	1.214
54	T-54	439.01	38	39	102	PVC	0.0015	1.14E-06	12.133	1.485
55	T-55	364.18	39	40	102	PVC	0.0015	1.14E-06	5.483	0.671
56	T-56	285.88	38	42	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	10.468	0.605
57	T-57	117.34	42	41	102	PVC	0.0015	1.14E-06	9.848	1.205
58	T-58	364.4	41	40	102	PVC	0.0015	1.14E-06	12.951	1.585
59	T-59	161.98	22	44	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	40.255	2.327
60	T-60	393.05	44	45	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	25.095	1.451
61	T-61	24	40	50	102	PVC	0.0015	1.14E-06	16.534	2.023
62	T-62	23.93	31	79	102	PVC	0.0015	1.14E-06	5.373	0.658
63	T-63	813.04	79	68	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.824	0.223
64	T-64	532.68	79	70	102	PVC	0.0015	1.14E-06	0.589	0.072
65	T-65	24.1	32	70	102	PVC	0.0015	1.14E-06	5.307	0.649
66	T-66	598.69	70	68	102	PVC	0.0015	1.14E-06	2.056	0.252
67	T-67	24.1	39	51	102	PVC	0.0015	1.14E-06	21.096	2.582
68	T-68	438	51	52	102	PVC	0.0015	1.14E-06	14.505	1.775
69	T-69	363.83	52	49	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.238	0.151
70	T-70	364.07	51	50	102	PVC	0.0015	1.14E-06	4.601	0.563
71	T-71	483	50	49	102	PVC	0.0015	1.14E-06	12.994	1.59

ANEXO 04-B

TABLA DE TUBERÍAS: DATOS Y RESPUESTAS

ID	Etiqueta	Longitud (m)	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	C. Rugosidad (mm)	Viscosidad Cinemática (m ² /s)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
72	T-72	20	50	45	148.4	PVC	0.0015	1.14E-06	6.241	0.361
73	T-73	483	45	48	102	PVC	0.0015	1.14E-06	12.939	1.583
74	T-74	24	49	48	102	PVC	0.0015	1.14E-06	-3.912	0.479
75	T-75	389.97	48	47	102	PVC	0.0015	1.14E-06	6.197	0.758
76	T-76	389.97	45	46	102	PVC	0.0015	1.14E-06	11.637	1.424
77	T-77	483	46	47	102	PVC	0.0015	1.14E-06	9.267	1.134
78	T-78	363.61	47	65	102	PVC	0.0015	1.14E-06	4.212	0.515
79	T-79	24.11	52	53	102	PVC	0.0015	1.14E-06	9.977	1.221
80	T-80	407.26	53	54	102	PVC	0.0015	1.14E-06	5.205	0.637
81	T-81	365.94	54	55	102	PVC	0.0015	1.14E-06	3.295	0.403
82	T-82	24	49	56	102	PVC	0.0015	1.14E-06	16.094	1.97
83	T-83	415	56	55	102	PVC	0.0015	1.14E-06	5.352	0.655
84	T-84	24	56	57	102	PVC	0.0015	1.14E-06	11.944	1.462
85	T-85	415	57	58	102	PVC	0.0015	1.14E-06	4.868	0.596
86	T-86	24	55	58	102	PVC	0.0015	1.14E-06	6.787	0.831
87	T-87	389.97	58	59	102	PVC	0.0015	1.14E-06	2.724	0.334
88	T-88	389.97	57	60	102	PVC	0.0015	1.14E-06	4.416	0.54
89	T-89	24	47	60	102	PVC	0.0015	1.14E-06	8.802	1.077
90	T-90	24.48	60	61	102	PVC	0.0015	1.14E-06	7.937	0.971
91	T-91	338.14	61	64	102	PVC	0.0015	1.14E-06	3.121	0.382
92	T-92	20.48	65	64	102	PVC	0.0015	1.14E-06	0.437	0.053
93	T-93	411.98	64	63	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.518	0.186
94	T-94	25.89	59	62	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.993	0.244
95	T-95	324.69	62	63	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.336	0.164
96	T-96	24	58	77	102	PVC	0.0015	1.14E-06	6.471	0.792
97	T-97	154.45	77	75	102	PVC	0.0015	1.14E-06	2.951	0.361
98	T-98	455.37	75	74	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.751	0.214
99	T-99	24	59	72	102	PVC	0.0015	1.14E-06	2.102	0.258
100	T-100	362.78	72	74	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.26	0.154
101	T-101	26.09	74	69	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.271	0.156
102	T-102	24.53	72	71	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.931	0.237
103	T-103	23.83	62	71	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.983	0.242
104	T-104	375.23	71	69	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.186	0.145
105	T-105	379.94	69	67	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.197	0.147
106	T-106	323.91	71	66	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.278	0.156
107	T-107	23.9	63	66	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.295	0.158
108	T-108	498.71	66	67	102	PVC	0.0015	1.14E-06	1.033	0.126
109	T-109	20.76	28	78	102	PVC	0.0015	1.14E-06	14.479	1.772
110	T-110	545.77	78	82	102	PVC	0.0015	1.14E-06	12.676	1.551
111	T-111	273.7	82	81	102	PVC	0.0015	1.14E-06	-0.254	0.02
112	T-112	98.34	78	80	102	PVC	0.0015	1.14E-06	0.753	0.092
113	T-113	462.12	80	81	102	PVC	0.0015	1.14E-06	13.889	1.7
114	T-114	24	81	83	102	PVC	0.0015	1.14E-06	11.615	1.432
115	T-115	24	82	84	102	PVC	0.0015	1.14E-06	11.47	1.393
116	T-116	273.7	83	84	102	PVC	0.0015	1.14E-06	-0.242	0.019
117	T-117	398.34	84	85	102	PVC	0.0015	1.14E-06	8.608	1.054
118	T-118	397.71	83	86	102	PVC	0.0015	1.14E-06	10.238	1.252
119	T-119	273.7	86	85	102	PVC	0.0015	1.14E-06	-6.038	0.739
120	T-120	27.04	86	87	102	PVC	0.0015	1.14E-06	14.605	1.787
121	T-121	398.14	87	90	102	PVC	0.0015	1.14E-06	6.53	0.799
122	T-122	398.14	88	89	102	PVC	0.0015	1.14E-06	3.365	0.412
123	T-123	273.7	90	89	102	PVC	0.0015	1.14E-06	-0.259	0.032
124	T-124	224.45	89	73	102	PVC	0.0015	1.14E-06	0.906	0.111
125	T-125	209.02	73	65	102	PVC	0.0015	1.14E-06	-3.775	0.462
126	T-126	24	90	91	102	PVC	0.0015	1.14E-06	5.449	0.667
127	T-127	376.94	91	30	102	PVC	0.0015	1.14E-06	2.531	0.31
128	T-128	498.25	91	76	102	PVC	0.0015	1.14E-06	0.218	0.027
129	T-129	24.92	73	76	102	PVC	0.0015	1.14E-06	4.491	0.55
130	T-130	377.57	76	43	102	PVC	0.0015	1.14E-06	2.489	0.305
131	T-131	498.25	30	43	102	PVC	0.0015	1.14E-06	-0.169	0.021
132	T-132	327.74	6	80	102	PVC	0.0015	1.14E-06	14.186	1.736
133	T-133	328.64	7	11	102	PVC	0.0015	1.14E-06	7.726	0.946
134	T-134	400.84	12	15	102	PVC	0.0015	1.14E-06	5.555	0.68
135	T-135	363.83	53	56	102	PVC	0.0015	1.14E-06	2.961	0.362
136	T-136	415	60	59	102	PVC	0.0015	1.14E-06	3.46	0.423
137	T-137	411.77	61	62	102	PVC	0.0015	1.14E-06	2.987	0.365
138	T-138	389.97	72	77	102	PVC	0.0015	1.14E-06	-2.319	0.284
139	T-139	273.7	87	88	102	PVC	0.0015	1.14E-06	6.545	0.801
140	T-140	26.32	20	21	102	PVC	0.0015	1.14E-06	-5.234	0.64

ANEXO 04-C
TABLA DE RESERVORIOS: DATOS

ID	Etiqueta	Elevación (m)	Altura Piezométrica (m)	X	Y
1	R-1	483.91	483.91	656	79

ANEXO 04-D
COTAS HIDRÁULICAS Y PRESIONES EN LOS NODOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA ACTUAL
DETERMINADOS EN EL PROGRAMA WATERGEMS

Etiqueta	Etiqueta en MAGMOREDES	Elevación (m)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (m H2O)
J-1	R	465.00	0.00	483.91	18.87
J-2	N-2	468.35	0.00	481.31	12.93
J-3	N-3	468.73	0.00	479.49	10.74
J-4	N-4	466.74	0.00	478.34	11.57
J-5	N-5	462.00	0.00	477.74	15.71
J-6	N-6	460.24	0.00	477.65	17.37
J-7	N-7	467.27	0.46	483.74	16.44
J-8	N-8	463.12	0.46	479.25	16.1
J-9	N-9	457.76	2.20	474.99	17.19
J-10	N-10	459.04	1.76	475.25	16.18
J-11	N-11	469.00	1.36	481.01	11.98
J-12	N-12	469.00	1.55	481.09	12.07
J-13	N-13	459.05	1.61	475.05	15.97
J-14	N-14	458.43	1.71	474.15	15.69
J-15	N-15	469.08	1.64	479.24	10.14
J-16	N-16	469.00	1.62	479.26	10.24
J-17	N-17	458.11	1.86	474.11	15.97
J-18	N-18	456.23	0.70	472.6	16.34
J-19	N-19	457.53	0.70	472.21	14.65
J-20	N-20	466.77	1.57	477.63	10.83
J-21	N-21	466.50	2.50	477.73	11.21
J-22	N-22	457.32	3.36	472.15	14.8
J-23	N-23	453.80	2.08	474	20.16
J-24	N-24	462.20	2.34	477.3	15.07
J-25	N-25	461.91	1.97	477.06	15.12
J-26	N-26	453.55	2.37	473.1	19.51
J-27	N-27	448.57	1.58	471.24	22.63
J-28	N-28	456.01	1.97	469.98	13.95
J-29	N-29	456.94	3.18	474.53	17.55
J-30	N-30	413.80	2.70	448.41	34.54
J-31	N-31	445.81	3.23	469.1	23.24
J-32	N-32	446.97	3.70	469.46	22.45
J-33	N-33	458.56	2.32	474.54	15.95
J-34	N-34	458.45	2.32	474.61	16.13
J-35	N-35	446.78	3.38	469.45	22.63
J-36	N-36	446.52	2.30	466.54	19.98
J-37	N-37	457.60	1.99	473.94	16.31
J-38	N-38	457.64	1.90	473.93	16.26
J-39	N-39	446.62	1.90	465.78	19.12
J-40	N-40	444.00	1.90	464.18	20.14
J-41	N-41	452.81	1.07	471.77	18.92
J-42	N-42	455.47	0.62	473.26	17.75
J-43	N-43	415.21	2.32	448.41	33.13
J-44	N-44	452.81	15.16	467.82	14.98
J-45	N-45	443.30	6.76	463.39	20.05

ANEXO 04-D
COTAS HIDRÁULICAS Y PRESIONES EN LOS NODOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA ACTUAL
DETERMINADOS EN EL PROGRAMA WATERGEMS

Etiqueta	Etiqueta en MAGMOREDES	Elevación (m)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (m H2O)
J-46	N-46	438.86	2.37	456.16	17.27
J-47	N-47	429.28	2.45	450.12	20.8
J-48	N-48	431.95	2.83	453.83	21.83
J-49	N-49	432.26	2.05	453.82	21.51
J-50	N-50	443.45	1.90	463.41	19.92
J-51	N-51	445.83	1.99	464.55	18.69
J-52	N-52	434.64	3.29	453.04	18.36
J-53	N-53	434.12	1.81	452.38	18.22
J-54	N-54	422.90	1.91	449.51	26.56
J-55	N-55	421.69	1.86	449.42	27.67
J-56	N-56	431.86	1.76	450.39	18.49
J-57	N-57	431.45	2.66	450.14	18.65
J-58	N-58	421.38	2.46	449.25	27.81
J-59	N-59	418.83	2.09	448.86	29.97
J-60	N-60	428.82	1.82	449.68	20.82
J-61	N-61	428.36	1.83	449.4	21
J-62	N-62	418.76	1.66	448.85	30.03
J-63	N-63	416.20	1.56	448.8	32.53
J-64	N-64	425.80	2.04	449.33	23.48
J-65	N-65	426.18	0.00	449.33	23.1
J-66	N-66	415.66	1.54	448.78	33.05
J-67	N-67	403.94	2.23	448.62	44.59
J-68	N-68	431.32	3.88	468.36	36.97
J-69	N-69	409.00	1.26	448.71	39.63
J-70	N-70	446.30	3.84	468.84	22.49
J-71	N-71	418.30	1.45	448.83	30.47
J-72	N-72	418.30	1.23	448.84	30.48
J-73	N-73	425.77	0.19	448.9	23.08
J-74	N-74	409.63	1.74	448.71	39.01
J-75	N-75	417.46	1.20	448.93	31.4
J-76	N-76	425.16	2.22	448.82	23.62
J-77	N-77	420.84	1.20	449.13	28.23
J-78	N-78	455.00	1.05	469.44	14.41
J-79	N-79	445.00	2.96	468.88	23.84
J-80	N-80	454.00	1.05	469.43	15.4
J-81	N-81	443.97	2.02	458.24	14.24
J-82	N-82	445.74	1.46	458.23	12.47
J-83	N-83	443.26	1.62	457.82	14.53
J-84	N-84	445.17	2.62	457.82	12.62
J-85	N-85	435.42	2.57	453.72	18.26
J-86	N-86	433.67	1.67	452.21	18.51
J-87	N-87	433.03	1.53	451.49	18.42
J-88	N-88	434.73	3.18	449.75	14.99
J-89	N-89	424.96	2.20	448.95	23.95
J-90	N-90	423.01	1.34	448.95	25.89
J-91	N-91	422.36	2.70	448.84	26.43

ANEXO 04-E
DIÁMETROS, VELOCIDAD Y CAUDAL EN LAS TUBERÍAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA ACTUAL
DETERMINADOS EN EL PROGRAMA WATERGEMS

Etiqueta	Etiqueta en MAGMOREDES	Diámetro (mm)	Material	Demanda (L/s)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)
P-1	T-1	329.20	PVC	163.09	1.92	353.98
P-2	T-2	329.20	PVC	121.03	1.42	426.62
P-3	T-3	292.20	PVC	81.93	1.22	308.48
P-4	T-4	292.20	PVC	44.45	0.66	487.19
P-5	T-5	292.20	PVC	14.29	0.21	563.69
P-6	T-6	148.40	PVC	21.32	1.23	19.64
P-7	T-7	102.00	PVC	13.13	1.61	208.61
P-8	T-8	102.00	PVC	12.67	1.55	211.23
P-9	T-9	102.00	PVC	-1.6	0.2	524.28
P-10	T-10	102.00	PVC	10.95	1.34	370.91
P-11	T-11	185.40	PVC	42.05	1.56	21.81
P-12	T-12	102.00	PVC	-4.57	0.56	24.81
P-13	T-13	148.40	PVC	30.37	1.76	374.33
P-14	T-14	102.00	PVC	7.59	0.93	25.10
P-15	T-15	102.00	PVC	3.73	0.46	397.19
P-16	T-16	102.00	PVC	9.42	1.15	429.96
P-17	T-17	148.40	PVC	-5.5	0.32	25.50
P-18	T-18	185.40	PVC	39.1	1.45	25.85
P-19	T-19	148.40	PVC	25.65	1.48	433.75
P-20	T-20	102.00	PVC	3.2	0.39	24.33
P-21	T-21	102.00	PVC	6.04	0.74	282.69
P-22	T-22	102.00	PVC	6.32	0.77	282.17
P-23	T-23	102.00	PVC	9.95	1.22	414.12
P-24	T-24	102.00	PVC	-5.34	0.65	89.94
P-25	T-25	102.00	PVC	4.15	0.51	162.74
P-26	T-26	148.40	PVC	10.44	0.6	27.21
P-27	T-27	148.40	PVC	37.48	2.17	25.51
P-28	T-28	148.40	PVC	27.58	1.59	412.55
P-29	T-29	102.00	PVC	-5.44	0.67	418.11
P-30	T-30	102.00	PVC	2.2	0.27	487.13
P-31	T-31	148.40	PVC	30.16	1.74	27.61
P-32	T-32	102.00	PVC	7.52	0.92	416.73
P-33	T-33	148.40	PVC	22.51	1.3	25.07
P-34	T-34	102.00	PVC	8.33	1.02	417.16
P-35	T-35	102.00	PVC	5.96	0.73	357.02
P-36	T-36	102.00	PVC	12.21	1.49	374.81
P-37	T-37	102.00	PVC	-4.38	0.54	417.20
P-38	T-38	102.00	PVC	12.07	1.48	24.71
P-39	T-39	102.00	PVC	9.49	1.16	452.56
P-40	T-40	102.00	PVC	-1.86	0.23	541.75
P-41	T-41	148.40	PVC	-0.6	0.03	534.02
P-42	T-42	102.00	PVC	9.31	1.14	437.71
P-43	T-43	148.40	PVC	-12.23	0.71	24.38
P-44	T-44	148.40	PVC	32.62	1.89	23.82
P-45	T-45	102.00	PVC	9.4	1.15	437.64
P-46	T-46	102.00	PVC	1.19	0.15	24.00
P-47	T-47	102.00	PVC	7.2	0.88	398.23
P-48	T-48	148.40	PVC	8.68	0.5	398.03

ANEXO 04-E
DIÁMETROS, VELOCIDAD Y CAUDAL EN LAS TUBERÍAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA ACTUAL
DETERMINADOS EN EL PROGRAMA WATERGEMS

Etiqueta	Etiqueta en MAGMOREDES	Diámetro (mm)	Material	Demanda (L/s)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)
P-49	T-49	148.40	PVC	3.46	0.2	25.76
P-50	T-50	102.00	PVC	8.24	1.01	22.63
P-51	T-51	102.00	PVC	11.46	1.4	438.99
P-52	T-52	102.00	PVC	16.37	2	23.57
P-53	T-53	148.40	PVC	20.96	1.21	21.50
P-54	T-54	102.00	PVC	12.09	1.48	439.01
P-55	T-55	102.00	PVC	5.42	0.66	364.18
P-56	T-56	148.40	PVC	10.42	0.6	285.88
P-57	T-57	102.00	PVC	9.8	1.2	117.34
P-58	T-58	102.00	PVC	12.89	1.58	364.40
P-59	T-59	148.40	PVC	40.09	2.32	161.98
P-60	T-60	148.40	PVC	24.93	1.44	393.05
P-61	T-61	102.00	PVC	16.41	2.01	24.00
P-62	T-62	102.00	PVC	8.12	0.99	23.93
P-63	T-63	102.00	PVC	1.82	0.22	813.04
P-65	T-64	102.00	PVC	2.56	0.31	532.68
P-64	T-65	102.00	PVC	3.34	0.41	24.10
P-66	T-66	102.00	PVC	2.06	0.25	598.69
P-67	T-67	102.00	PVC	21.14	2.59	24.10
P-68	T-68	102.00	PVC	14.67	1.79	438.00
P-69	T-69	102.00	PVC	-3.6	0.44	363.83
P-70	T-70	102.00	PVC	4.49	0.55	364.07
P-71	T-71	102.00	PVC	12.55	1.54	483.00
P-72	T-72	148.40	PVC	6.44	0.37	20.00
P-73	T-73	102.00	PVC	12.53	1.53	483.00
P-74	T-74	102.00	PVC	-1.37	0.17	24.00
P-75	T-75	102.00	PVC	8.34	1.02	389.97
P-76	T-76	102.00	PVC	12.08	1.48	389.97
P-77	T-77	102.00	PVC	9.71	1.19	483.00
P-78	T-78	102.00	PVC	3.63	0.44	363.61
P-79	T-79	102.00	PVC	14.98	1.83	24.11
P-80	T-80	102.00	PVC	7.05	0.86	407.26
P-82	T-81	102.00	PVC	8.27	1.01	365.94
P-81	T-82	102.00	PVC	5.14	0.63	24.00
P-83	T-83	102.00	PVC	3.8	0.46	415.00
P-84	T-84	102.00	PVC	8.83	1.08	24.00
P-85	T-85	102.00	PVC	3.61	0.44	415.00
P-86	T-86	102.00	PVC	7.07	0.87	24.00
P-87	T-87	102.00	PVC	2.34	0.29	389.97
P-88	T-88	102.00	PVC	2.56	0.31	389.97
P-89	T-89	102.00	PVC	11.97	1.46	24.00
P-90	T-90	102.00	PVC	9.26	1.13	24.48
P-92	T-91	102.00	PVC	0.1	0.01	338.14
P-91	T-92	102.00	PVC	4.66	0.57	20.48
P-93	T-93	102.00	PVC	2.72	0.33	411.98
P-94	T-94	102.00	PVC	1.63	0.2	25.89
P-95	T-95	102.00	PVC	0.8	0.1	324.69
P-96	T-96	102.00	PVC	5.88	0.72	24.00

ANEXO 04-E

**DIÁMETROS, VELOCIDAD Y CAUDAL EN LAS TUBERÍAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA ACTUAL
DETERMINADOS EN EL PROGRAMA WATERGEMS**

Etiqueta	Etiqueta en MAGMOREDES	Diámetro (mm)	Material	Demanda (L/s)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)
P-97	T-97	102.00	PVC	2.71	0.33	154.45
P-98	T-98	102.00	PVC	1.51	0.19	455.37
P-99	T-99	102.00	PVC	2.07	0.25	24.00
P-100	T-100	102.00	PVC	1.28	0.16	362.78
P-101	T-101	102.00	PVC	1.05	0.13	26.09
P-102	T-102	102.00	PVC	1.53	0.19	24.53
P-103	T-103	102.00	PVC	1.95	0.24	23.83
P-104	T-104	102.00	PVC	1.22	0.15	375.23
P-105	T-105	102.00	PVC	1.01	0.12	379.94
P-106	T-106	102.00	PVC	0.8	0.1	323.91
P-107	T-107	102.00	PVC	1.95	0.24	23.90
P-108	T-108	102.00	PVC	1.22	0.15	498.71
P-109	T-109	102.00	PVC	14.62	1.79	20.76
P-110	T-110	102.00	PVC	12.79	1.57	545.77
P-111	T-111	102.00	PVC	-0.26	0.03	273.70
P-112	T-112	102.00	PVC	0.78	0.09	98.34
P-113	T-113	102.00	PVC	14.01	1.72	462.12
P-114	T-114	102.00	PVC	11.73	1.44	24.00
P-115	T-115	102.00	PVC	11.59	1.42	24.00
P-116	T-116	102.00	PVC	-0.26	0.03	273.70
P-117	T-117	102.00	PVC	8.71	1.07	398.34
P-118	T-118	102.00	PVC	10.37	1.27	397.71
P-119	T-119	102.00	PVC	-6.14	0.75	273.70
P-120	T-120	102.00	PVC	14.85	1.82	27.04
P-121	T-121	102.00	PVC	6.66	0.82	398.14
P-122	T-122	102.00	PVC	3.47	0.42	398.14
P-123	T-123	102.00	PVC	-0.24	0.03	273.70
P-124	T-124	102.00	PVC	1.03	0.13	224.45
P-125	T-125	102.00	PVC	-3.53	0.43	209.02
P-126	T-126	102.00	PVC	5.56	0.68	24.00
P-127	T-127	102.00	PVC	2.54	0.31	376.94
P-128	T-128	102.00	PVC	0.32	0.04	498.25
P-129	T-129	102.00	PVC	4.38	0.54	24.92
P-130	T-130	102.00	PVC	2.48	0.3	377.57
P-131	T-131	102.00	PVC	-0.16	0.02	498.25
P-132	T-132	102.00	PVC	14.29	1.75	327.74
P-133	T-133	102.00	PVC	7.73	0.95	328.64
P-134	T-134	102.00	PVC	5.56	0.68	400.84
P-135	T-135	102.00	PVC	6.12	0.75	363.83
P-136	T-136	102.00	PVC	3.45	0.42	415.00
P-137	T-137	102.00	PVC	2.77	0.34	411.77
P-138	T-138	102.00	PVC	-1.97	0.24	389.97
P-139	T-139	102.00	PVC	6.65	0.81	273.70
P-140	R	329.20	PVC	184.41	2.17	1865.00
P-141	T-140	102.00	PVC	-5.2	0.64	26.32

ANEXO 05:

- ANEXO 05-A : MAGMO TRES OBJETIVOS: TABLA DE OBJETIVOS RESULTANTE
- ANEXO 05-B : MAGMO TRES OBJETIVOS: TABLA DE NODOS DE LAS RESPUESTAS
- ANEXO 05-C : MAGMO TRES OBJETIVOS: TABLA DE TUBERÍAS DE LAS RESPUESTAS

ANEXO 05-A

MAGMO: TABLA DE OBJETIVOS RESULTANTES

ID Poblador	Objetivo 01	Objetivo 02	Costo Estimado	Objetivo 03	ID Poblador	Objetivo 01	Objetivo 02	Costo Estimado S/.	Objetivo 03
1	0.322	0.402	3156855	0.779	60	0.392	0.218	2018810.752	0.529
2	0.438	0.215	2000475	0.507	61	0.392	0.218	2015800.572	0.529
3	0.391	0.224	2055975	0.529	62	0.4	0.218	2017089.53	0.514
4	0.38	0.218	2017946	0.536	63	0.414	0.21	1970429.19	0.507
5	0.438	0.236	2131189	0.507	64	0.401	0.214	1990660.807	0.514
6	0.376	0.226	2065372	0.593	65	0.397	0.211	1972634.016	0.514
7	0.395	0.223	2050062	0.521	66	0.391	0.218	2017807.253	0.529
8	0.391	0.206	1940451	0.564	67	0.402	0.203	1925925.859	0.536
9	0.397	0.218	2015091	0.529	68	0.402	0.206	1943883.261	0.529
10	0.395	0.215	1997262	0.529	69	0.401	0.218	2016476.826	0.507
11	0.379	0.221	2035314	0.564	70	0.394	0.218	2018389.332	0.521
12	0.384	0.213	1989405	0.55	71	0.407	0.212	1979510.658	0.507
13	0.394	0.217	2010463	0.529	72	0.383	0.225	2057931.11	0.529
14	0.391	0.222	2041184	0.529	73	0.392	0.218	2015800.572	0.529
15	0.404	0.203	1924740	0.529	74	0.386	0.224	2055112.213	0.529
16	0.393	0.208	1954455	0.536	75	0.385	0.224	2054920.93	0.529
17	0.387	0.214	1989638	0.536	76	0.39	0.219	2026198.245	0.529
18	0.399	0.204	1931064	0.543	77	0.385	0.224	2054920.93	0.529
19	0.384	0.213	1989214	0.55	78	0.397	0.206	1945575.496	0.521
20	0.394	0.211	1972500	0.529	79	0.384	0.224	2056927.611	0.529
21	0.402	0.206	1945542	0.529	80	0.397	0.206	1945575.496	0.521
22	0.381	0.216	2005151	0.564	81	0.392	0.215	2000660.285	0.529
23	0.396	0.22	2028816	0.521	82	0.392	0.215	1998462.32	0.529
24	0.392	0.212	1981338	0.543	83	0.396	0.218	2015134.61	0.514
25	0.411	0.203	1925866	0.521	84	0.396	0.218	2015134.61	0.514
26	0.394	0.21	1969490	0.529	85	0.385	0.224	2054920.93	0.529
27	0.387	0.213	1985952	0.55	86	0.384	0.224	2056927.611	0.529
28	0.388	0.213	1984314	0.55	87	0.384	0.224	2056927.611	0.529
29	0.386	0.213	1988552	0.557	88	0.385	0.224	2056115.712	0.529
30	0.383	0.216	2004151	0.55	89	0.384	0.224	2056927.611	0.529
31	0.403	0.207	1946466	0.521	90	0.385	0.224	2056115.712	0.529
32	0.387	0.213	1985952	0.55	91	0.384	0.224	2055924.428	0.529
33	0.397	0.206	1945851	0.536	92	0.384	0.224	2055924.428	0.529
34	0.391	0.213	1988241	0.536	93	0.384	0.224	2056927.611	0.529
35	0.389	0.211	1971188	0.543	94	0.384	0.224	2055924.428	0.529
36	0.391	0.22	2028010	0.529	95	0.384	0.224	2055924.428	0.529
37	0.388	0.213	1984308	0.557	96	0.383	0.225	2057931.11	0.529
38	0.389	0.212	1982307	0.55	97	0.383	0.225	2057931.11	0.529
39	0.402	0.208	1953663	0.521	98	0.383	0.225	2057931.11	0.529
40	0.404	0.206	1941977	0.521	99	0.383	0.225	2057931.11	0.529
41	0.418	0.201	1909755	0.507	100	0.383	0.225	2057931.11	0.529
42	0.395	0.205	1939883	0.543	101	0.383	0.225	2057931.11	0.529
43	0.409	0.203	1925703	0.521	102	0.379	0.225	2059973.212	0.529
44	0.393	0.218	2019002	0.529	103	0.383	0.225	2057931.11	0.521
45	0.396	0.205	1938583	0.55	104	0.383	0.225	2057931.11	0.521
46	0.405	0.205	1938350	0.514	105	0.383	0.225	2057931.11	0.529
47	0.404	0.205	1938117	0.529	106	0.383	0.225	2057931.11	0.521
48	0.403	0.205	1935541	0.529	107	0.39	0.213	1984586.676	0.536
49	0.411	0.199	1897559	0.529	108	0.383	0.224	2052080.314	0.529
50	0.388	0.212	1980310	0.55	109	0.375	0.227	2071035.236	0.529
51	0.391	0.209	1962506	0.55	110	0.379	0.223	2050037.218	0.543
52	0.41	0.201	1914897	0.521	111	0.379	0.223	2049114.219	0.529
53	0.411	0.199	1897559	0.529	112	0.379	0.223	2050037.218	0.543
54	0.402	0.212	1979470	0.514	113	0.379	0.223	2050037.218	0.543
55	0.392	0.218	2019338	0.529	114	0.371	0.232	2105167.116	0.529
56	0.391	0.235	2125261	0.521	115	0.364	0.232	2101404.097	0.55
57	0.404	0.202	1920779	0.536	116	0.375	0.227	2071731.467	0.536
58	0.401	0.221	2033689	0.507	117	0.375	0.227	2071731.467	0.536
59	0.404	0.206	1940315	0.521	118	0.372	0.226	2068308.161	0.55

ANEXO 05-A

MAGMO: TABLA DE OBJETIVOS RESULTANTES

ID Poblador	Objetivo 01	Objetivo 02	Costo Estimado	Objetivo 03	ID Poblador	Objetivo 01	Objetivo 02	Costo Estimado S/.	Objetivo 03
119	0.368	0.23	2089157	0.536	170	0.344	0.243	2169745.411	0.593
120	0.37	0.228	2078720	0.543	171	0.344	0.242	2165874.776	0.593
121	0.367	0.23	2089852	0.536	172	0.347	0.238	2138979.485	0.579
122	0.356	0.233	2107726	0.6	173	0.344	0.241	2161502.533	0.593
123	0.362	0.237	2135358	0.557	174	0.347	0.238	2138375.524	0.579
124	0.366	0.239	2146687	0.543	175	0.346	0.238	2143725.572	0.579
125	0.361	0.234	2116675	0.557	176	0.348	0.237	2133629.438	0.579
126	0.371	0.228	2076136	0.543	177	0.346	0.238	2143725.572	0.579
127	0.34	0.247	2198820	0.643	178	0.346	0.24	2151524.652	0.579
128	0.373	0.228	2079079	0.536	179	0.352	0.235	2123752.128	0.571
129	0.34	0.249	2208543	0.643	180	0.348	0.24	2154702.316	0.571
130	0.342	0.242	2163163	0.6	181	0.351	0.234	2114416.583	0.571
131	0.363	0.239	2146192	0.55	182	0.35	0.236	2126203.058	0.571
132	0.358	0.232	2104251	0.557	183	0.348	0.235	2124907.907	0.571
133	0.342	0.252	2227084	0.607	184	0.345	0.242	2167616.462	0.579
134	0.341	0.248	2200469	0.607	185	0.345	0.241	2156874.7	0.579
135	0.341	0.247	2196598	0.614	186	0.346	0.239	2148376.066	0.579
136	0.342	0.247	2194648	0.614	187	0.35	0.235	2119766.631	0.571
137	0.338	0.251	2218920	0.629	188	0.347	0.237	2134531.28	0.579
138	0.341	0.252	2228204	0.614	189	0.345	0.238	2143859.803	0.579
139	0.337	0.253	2230718	0.636	190	0.347	0.237	2136854.445	0.579
140	0.341	0.248	2205215	0.621	191	0.349	0.236	2128126.074	0.564
141	0.341	0.248	2205215	0.621	192	0.347	0.237	2132108.358	0.579
142	0.351	0.233	2109301	0.6	193	0.347	0.236	2131313.113	0.579
143	0.351	0.233	2108323	0.6	194	0.346	0.237	2136663.161	0.579
144	0.365	0.24	2154134	0.536	195	0.344	0.242	2165874.776	0.593
145	0.344	0.24	2153575	0.6	196	0.343	0.243	2174491.498	0.586
146	0.344	0.24	2153575	0.6	197	0.343	0.243	2170620.863	0.593
147	0.352	0.244	2179513	0.55	198	0.343	0.243	2174491.498	0.586
148	0.366	0.243	2174555	0.529	199	0.343	0.243	2170620.863	0.586
149	0.366	0.24	2152328	0.529	200	0.343	0.243	2170620.863	0.586
150	0.351	0.245	2185908	0.557	201	0.366	0.231	2096469.101	0.579
151	0.347	0.234	2116872	0.586	202	0.356	0.233	2112589.673	0.579
152	0.367	0.235	2120481	0.529	203	0.356	0.233	2109052.593	0.579
153	0.368	0.229	2082695	0.529	204	0.356	0.233	2109052.593	0.579
154	0.355	0.24	2156048	0.557	205	0.356	0.233	2109052.593	0.579
155	0.366	0.241	2156700	0.529	206	0.356	0.233	2109052.593	0.579
156	0.348	0.237	2133629	0.579	207	0.356	0.233	2109052.593	0.579
157	0.348	0.237	2134607	0.579	208	0.356	0.233	2111702.441	0.579
158	0.354	0.24	2156166	0.557	209	0.356	0.233	2111702.441	0.579
159	0.345	0.242	2165373	0.593	210	0.358	0.232	2103853.33	0.579
160	0.356	0.239	2144877	0.557	211	0.362	0.232	2101131.114	0.571
161	0.348	0.237	2134607	0.579	212	0.362	0.232	2101131.114	0.571
162	0.344	0.242	2167323	0.586	213	0.356	0.233	2108165.361	0.579
163	0.344	0.241	2161503	0.593	214	0.357	0.231	2100316.25	0.579
164	0.347	0.238	2142850	0.579	215	0.357	0.231	2100316.25	0.579
165	0.357	0.239	2148855	0.543	216	0.361	0.231	2097594.033	0.571
166	0.347	0.238	2139353	0.579	217	0.361	0.231	2097594.033	0.571
167	0.346	0.238	2143726	0.579	218	0.357	0.231	2100316.25	0.579
168	0.342	0.244	2175971	0.593	219	0.357	0.231	2100316.25	0.579
169	0.347	0.238	2138979	0.579					

ANEXO 05-B
MAGMO: TABLA DE NODOS DE LAS RESPUESTAS

ID Poblador	ID Nodo	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)
41	2	482.471	14.121
41	3	481.252	12.522
41	4	480.512	13.772
41	5	478.731	16.731
41	6	477.556	17.316
41	7	483.859	16.589
41	8	483.657	20.537
41	9	482.565	24.805
41	10	482.082	23.042
41	11	482.697	13.697
41	12	482.38	13.38
41	13	481.431	22.381
41	14	479.461	21.031
41	15	481.565	12.485
41	16	481.24	12.24
41	17	479.459	21.349
41	18	478.265	22.035
41	19	478.264	20.734
41	20	480.541	13.771
41	21	480.459	13.959
41	22	478.211	20.891
41	23	478.572	24.772
41	24	478.964	16.764
41	25	478.832	16.922
41	26	476.129	22.579
41	27	475.951	27.381
41	28	475.775	19.765
41	29	482.532	25.592
41	30	472.069	58.269
41	31	481.345	35.535
41	32	478.177	31.207
41	33	481.398	22.838
41	34	481.403	22.953
41	35	478.143	31.363
41	36	477.412	30.892
41	37	479.455	21.855
41	38	479.452	21.812
41	39	477.344	30.724
41	40	475.507	31.507
41	41	475.868	23.058
41	42	476.469	20.999
41	43	472.07	56.86
41	44	477.719	24.909
41	45	475.264	31.964
41	46	474.181	35.321
41	47	473.805	44.525
41	48	474.6	42.65

ANEXO 05-B
MAGMO: TABLA DE NODOS DE LAS RESPUESTAS

ID Poblador	ID Nodo	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)
41	49	474.372	42.112
41	50	475.279	31.829
41	51	477.161	31.331
41	52	474.389	39.749
41	53	474.293	40.173
41	54	473.914	51.014
41	55	473.67	51.98
41	56	474.222	42.362
41	57	473.453	42.003
41	58	473.462	52.082
41	59	473.053	54.223
41	60	473.281	44.461
41	61	473.28	44.92
41	62	473.051	54.291
41	63	472.997	56.797
41	64	472.994	47.194
41	65	472.993	46.813
41	66	472.994	57.334
41	67	472.915	68.975
41	68	480.298	48.978
41	69	473.023	64.023
41	70	478.284	31.984
41	71	473.051	54.751
41	72	473.051	54.751
41	73	472.599	46.829
41	74	473.036	63.406
41	75	473.176	55.716
41	76	472.497	47.337
41	77	473.183	52.343
41	78	475.573	20.573
41	79	481.145	36.145
41	80	475.568	21.568
41	81	474.488	30.518
41	82	473.358	27.618
41	83	474.068	30.808
41	84	473.267	28.097
41	85	472.75	37.33
41	86	472.735	39.065
41	87	472.706	39.676
41	88	472.446	37.716
41	89	472.459	47.499
41	90	472.496	49.486
41	91	472.496	50.136

ANEXO 05-C
MAGMO: TABLA DE TUBERÍAS DE LAS RESPUESTAS

ID Poblador	ID Tubería	Díámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
41	1	329.2	117.578	1.381
41	2	292.2	70.545	1.052
41	3	231.8	34.599	0.82
41	4	83.4	2.83	0.518
41	5	185.4	17.62	0.653
41	6	292.2	66.832	0.997
41	7	329.2	53.328	0.627
41	8	231.8	52.868	1.253
41	9	129.8	4.282	0.323
41	10	129.8	5.963	0.451
41	11	231.8	47.034	1.115
41	12	83.4	5.721	1.047
41	13	185.4	19.652	0.728
41	14	83.4	8.485	1.553
41	15	83.4	3.361	0.615
41	16	83.4	3.336	0.611
41	17	148.4	26.576	1.536
41	18	329.2	35.945	0.422
41	19	185.4	25.69	0.952
41	20	185.4	2.883	0.106
41	21	102	5.275	0.645
41	22	231.8	35.211	0.834
41	23	129.8	11.663	0.881
41	24	329.2	-4.575	0.054
41	25	83.4	6.185	1.131
41	26	148.4	9.353	0.541
41	27	231.8	31.769	0.753
41	28	129.8	11.605	0.877
41	29	129.8	-4.131	0.312
41	30	231.8	39.642	0.939
41	31	129.8	-14.79	1.118
41	32	148.4	6.211	0.359
41	33	148.4	16.301	0.942
41	34	102	6.706	0.82
41	35	148.4	4.336	0.251
41	36	102	7.626	0.933
41	37	129.8	-2.756	0.208
41	38	292.2	46.386	0.692
41	39	231.8	36.353	0.862
41	40	129.8	12.07	0.912
41	41	129.8	6.853	0.518
41	42	102	7.2	0.881
41	43	148.4	-2.667	0.154
41	44	231.8	23.166	0.549
41	45	102	7.249	0.887
41	46	231.8	25.942	0.615
41	47	231.8	29.812	0.707
41	48	129.8	10.93	0.826
41	49	83.4	0.416	0.078
41	50	129.8	2.105	0.16
41	51	129.8	10.629	0.804
41	52	231.8	38.141	0.904
41	53	292.2	21.438	0.319
41	54	83.4	3.301	0.605
41	55	83.4	3.393	0.621
41	56	129.8	16.653	1.258
41	57	148.4	16.033	0.926
41	58	231.8	21.148	0.501
41	59	185.4	21.729	0.805
41	60	102	6.569	0.804
41	61	148.4	22.641	1.308
41	62	148.4	21.053	1.218
41	63	148.4	6.583	0.382
41	64	129.8	11.51	0.869

ANEXO 05-C
MAGMO: TABLA DE TUBERÍAS DE LAS RESPUESTAS

ID Poblador	ID Tubería	Díámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
41	65	129.8	-10.373	0.785
41	66	83.4	-2.703	0.499
41	67	185.4	36.148	1.34
41	68	148.4	18.035	1.042
41	69	129.8	0.784	0.057
41	70	148.4	16.123	0.934
41	71	102	3.344	0.409
41	72	292.2	33.521	0.5
41	73	231.8	25.369	0.601
41	74	129.8	-15.839	1.198
41	75	129.8	6.7	0.507
41	76	129.8	7.961	0.602
41	77	148.4	5.591	0.323
41	78	83.4	2.142	0.392
41	79	148.4	13.961	0.808
41	80	185.4	11.225	0.416
41	81	185.4	9.315	0.345
41	82	148.4	17.916	1.035
41	83	148.4	7.547	0.436
41	84	83.4	9.534	1.747
41	85	129.8	-0.501	0.036
41	86	129.8	15.003	1.133
41	87	148.4	6.612	0.383
41	88	185.4	7.376	0.273
41	89	83.4	7.7	1.41
41	90	329.2	8.662	0.102
41	91	148.4	5.862	0.339
41	92	292.2	-4.267	0.064
41	93	148.4	-0.445	0.026
41	94	292.2	8.121	0.121
41	95	185.4	4.246	0.158
41	96	83.4	5.43	0.995
41	97	231.8	3.502	0.083
41	98	129.8	2.302	0.174
41	99	129.8	0.994	0.075
41	100	148.4	1.05	0.061
41	101	102	1.611	0.197
41	102	292.2	-0.557	0.008
41	103	329.2	3.185	0.037
41	104	83.4	0.307	0.056
41	105	83.4	0.658	0.121
41	106	102	0.87	0.107
41	107	148.4	2.241	0.129
41	108	129.8	1.572	0.119
41	109	102	8.411	1.029
41	110	102	5.158	0.631
41	111	129.8	-9.94	0.751
41	112	185.4	2.203	0.082
41	113	185.4	18.773	0.695
41	114	83.4	6.814	1.247
41	115	148.4	13.638	0.788
41	116	83.4	2.498	0.457
41	117	185.4	13.516	0.5
41	118	83.4	2.696	0.493
41	119	329.2	-10.946	0.129
41	120	185.4	11.972	0.443
41	121	185.4	8.168	0.302
41	122	148.4	-0.906	0.052
41	123	148.4	2.07	0.12
41	124	83.4	-1.037	0.19
41	125	129.8	-6.408	0.485
41	126	292.2	4.758	0.071
41	127	102	2.51	0.307
41	128	185.4	-0.452	0.017

ANEXO 05-C
MAGMO: TABLA DE TUBERÍAS DE LAS RESPUESTAS

ID Poblador	ID Tubería	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
41	129	102	5.182	0.635
41	130	102	2.51	0.307
41	131	148.4	-0.19	0.011
41	132	148.4	17.62	1.019
41	133	148.4	13.043	0.754
41	134	231.8	31.552	0.748
41	135	102	0.925	0.116
41	136	148.4	4.593	0.265
41	137	83.4	0.97	0.178
41	138	83.4	-0.728	0.134
41	139	102	2.274	0.278
41	140	185.4	21.978	0.814

ANEXO 06:

- ANEXO 06-A: MAGMO PARA DOS OBJETIVOS: TABLA DE OBJETIVOS RESULTANTE
- ANEXO 06-B: MAGMO PARA DOS OBJETIVOS: TABLA DE NODOS DE LAS RESPUESTAS
- ANEXO 06-C: MAGMO PARA DOS OBJETIVOS: TABLA DE TUBERÍAS DE LAS RESPUESTAS

ANEXO 06-A

MAGMO PARA 02 OBJETIVOS: TABLA DE OBJETIVOS RESULTANTES

ID Poblador	Objetivo 01	Objetivo 02	Costo Estimado (S/.)
1	0.306	0.231	2097428.645
2	0.306	0.231	2097428.645
3	0.305	0.231	2100637.795
4	0.345	0.211	1975296.764
5	0.347	0.21	1970638.2
6	0.347	0.21	1970638.2
7	0.303	0.235	2120535.553
8	0.341	0.216	2002903.296
9	0.333	0.222	2044860.779
10	0.343	0.213	1987826.854
11	0.317	0.223	2047715.105
12	0.343	0.214	1992006.837
13	0.343	0.213	1987826.854
14	0.343	0.213	1987826.854
15	0.344	0.213	1986482.712
16	0.339	0.216	2005944.604
17	0.352	0.21	1965585.696
18	0.342	0.215	1996276.127
19	0.354	0.21	1964806.929
20	0.343	0.214	1990662.695
21	0.348	0.21	1968364.963
22	0.338	0.219	2025998.595
23	0.342	0.215	1996276.127
24	0.354	0.21	1964806.929
25	0.339	0.217	2010124.586
26	0.342	0.215	1997495.33
27	0.335	0.221	2035667.071
28	0.348	0.21	1968364.963
29	0.338	0.219	2025998.595
30	0.342	0.215	2000456.11
31	0.342	0.215	1996276.127
32	0.343	0.213	1987826.854
33	0.307	0.224	2053583.015
34	0.339	0.219	2021818.612
35	0.343	0.214	1992006.837
36	0.342	0.215	1996276.127
37	0.342	0.215	2000456.11
38	0.352	0.21	1965585.696
39	0.342	0.215	1996276.127
40	0.342	0.215	1997495.33
41	0.342	0.215	2000456.11
42	0.343	0.214	1992006.837
43	0.354	0.21	1964806.929
44	0.351	0.21	1967586.195
45	0.342	0.215	1996276.127
46	0.351	0.21	1967586.195
47	0.408	0.202	1919777.837
48	0.391	0.204	1933745.612
49	0.42	0.199	1899284.467

ANEXO 06-B

MAGMO PARA 02 OBJETIVOS: TABLA DE NODOS DE LAS RESPUESTAS

ID Poblador	ID Nodo	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)	ID Poblador	ID Nodo	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)
48	2	482.896	14.546	48	47	472.874	43.594
48	3	482.46	13.73	48	48	474.022	42.072
48	4	481.935	15.195	48	49	474.013	41.753
48	5	479.012	17.012	48	50	474.865	31.415
48	6	478.188	17.948	48	51	475.619	29.789
48	7	483.827	16.557	48	52	474.146	39.506
48	8	481.25	18.13	48	53	473.835	39.715
48	9	481.199	23.439	48	54	473.569	50.669
48	10	482.216	23.176	48	55	473.072	51.382
48	11	482.932	13.932	48	56	473.788	41.928
48	12	482.883	13.883	48	57	473.751	42.301
48	13	482.216	23.166	48	58	473.052	51.672
48	14	481.641	23.211	48	59	472.715	53.885
48	15	482.388	13.308	48	60	472.866	44.046
48	16	482.136	13.136	48	61	472.846	44.486
48	17	481.595	23.485	48	62	472.708	53.948
48	18	481.472	25.242	48	63	472.4	56.2
48	19	479.648	22.118	48	64	472.417	46.617
48	20	482.003	15.233	48	65	472.424	46.244
48	21	481.855	15.355	48	66	472.4	56.74
48	22	478.982	21.662	48	67	472.4	68.46
48	23	478.98	25.18	48	68	478.772	47.452
48	24	479.012	16.812	48	69	472.54	63.54
48	25	478.908	16.998	48	70	478.518	32.218
48	26	477.896	24.346	48	71	472.679	54.379
48	27	477.9	29.33	48	72	472.688	54.388
48	28	478.523	22.513	48	73	472.349	46.579
48	29	481.172	24.232	48	74	472.615	62.985
48	30	472.105	58.305	48	75	472.629	55.169
48	31	479.633	33.823	48	76	472.324	47.164
48	32	478.51	31.54	48	77	472.845	52.005
48	33	481.642	23.082	48	78	478.275	23.275
48	34	481.674	23.224	48	79	479.631	34.631
48	35	478.5	31.72	48	80	477.709	23.709
48	36	475.692	29.172	48	81	476.044	32.074
48	37	481.568	23.968	48	82	475.743	30.003
48	38	481.589	23.949	48	83	475.393	32.133
48	39	475.669	29.049	48	84	475.735	30.565
48	40	475.142	31.142	48	85	473.142	37.722
48	41	476.36	23.55	48	86	473.039	39.369
48	42	476.399	20.929	48	87	473.036	40.006
48	43	472.277	57.067	48	88	472.484	37.754
48	44	475.881	23.071	48	89	472.35	47.39
48	45	474.744	31.444	48	90	472.163	49.153
48	46	474.322	35.462	48	91	472.156	49.796

ANEXO 06-C
MAGMO PARA 02 OBJETIVOS: TABLA DE TUBERÍAS DE LAS RESPUESTAS

ID Poblador	ID Tubería	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
48	1	329.2	96.956	1.139
48	2	329.2	54.91	0.645
48	3	231.8	28.58	0.677
48	4	102	6.423	0.786
48	5	148.4	7.958	0.46
48	6	292.2	87.454	1.304
48	7	129.8	18.294	1.383
48	8	292.2	17.834	0.266
48	9	129.8	-6.511	0.492
48	10	148.4	9.307	0.538
48	11	329.2	42.046	0.494
48	12	292.2	58.034	0.865
48	13	329.2	74.624	0.877
48	14	329.2	1.036	0.012
48	15	292.2	48.419	0.722
48	16	129.8	6.119	0.462
48	17	129.8	16.147	1.22
48	18	148.4	26.329	1.522
48	19	129.8	5.08	0.384
48	20	231.8	30.309	0.72
48	21	231.8	13.363	0.317
48	22	329.2	35.777	0.42
48	23	83.4	3.63	0.665
48	24	102	-12.663	1.55
48	25	83.4	7.38	1.351
48	26	83.4	8.213	1.503
48	27	185.4	22.157	0.821
48	28	148.4	19.021	1.1
48	29	185.4	0.565	0.021
48	30	185.4	31.212	1.156
48	31	185.4	-1.534	0.057
48	32	148.4	1.515	0.088
48	33	185.4	25.823	0.957
48	34	83.4	2.246	0.411
48	35	83.4	-0.124	0.023
48	36	231.8	21.607	0.512
48	37	83.4	1.704	0.312
48	38	231.8	22.145	0.525
48	39	185.4	23.138	0.857
48	40	129.8	6.76	0.511
48	41	129.8	-4.173	0.315
48	42	102	7.089	0.867
48	43	185.4	-13.581	0.503
48	44	129.8	25.63	1.937
48	45	83.4	4.162	0.762
48	46	231.8	12.616	0.299
48	47	129.8	13.398	1.013
48	48	185.4	5.567	0.207
48	49	83.4	-1.221	0.239
48	50	185.4	22.52	0.831
48	51	148.4	27.317	1.579
48	52	292.2	38.415	0.573
48	53	292.2	20.166	0.302
48	54	102	10.092	1.235
48	55	185.4	14.387	0.533
48	56	83.4	6.953	1.273
48	57	185.4	6.333	0.235
48	58	148.4	12.643	0.731
48	59	129.8	23.309	1.761
48	60	129.8	8.149	0.616
48	61	148.4	25.13	1.453
48	62	329.2	13.147	0.154
48	63	148.4	6.636	0.384
48	64	102	3.551	0.435
48	65	129.8	-2.467	0.187
48	66	129.8	-2.756	0.208
48	67	231.8	32.22	0.764
48	68	148.4	12.684	0.733
48	69	148.4	3.644	0.211

ANEXO 06-C

MAGMO PARA 02 OBJETIVOS: TABLA DE TUBERÍAS DE LAS RESPUESTAS

ID Poblador	ID Tubería	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
48	70	185.4	17.547	0.65
48	71	148.4	8.847	0.511
48	72	185.4	31.93	1.183
48	73	231.8	26.597	0.63
48	74	231.8	-11.993	0.284
48	75	148.4	11.774	0.681
48	76	148.4	6.722	0.389
48	77	102	4.352	0.533
48	78	148.4	7.254	0.419
48	79	83.4	5.75	1.053
48	80	129.8	3.524	0.266
48	81	83.4	1.614	0.296
48	82	148.4	22.433	1.297
48	83	129.8	6.095	0.461
48	84	185.4	14.994	0.555
48	85	148.4	8.614	0.498
48	86	148.4	5.85	0.338
48	87	129.8	4.132	0.312
48	88	102	3.719	0.455
48	89	185.4	6.422	0.238
48	90	148.4	5.791	0.335
48	91	83.4	1.553	0.284
48	92	83.4	0.705	0.129
48	93	83.4	0.217	0.04
48	94	129.8	2.083	0.157
48	95	83.4	1.318	0.241
48	96	102	7.872	0.963
48	97	102	2.827	0.346
48	98	185.4	1.627	0.06
48	99	102	2.489	0.305
48	100	148.4	2.59	0.15
48	101	83.4	2.477	0.453
48	102	129.8	2.514	0.19
48	103	83.4	1.514	0.277
48	104	102	1.33	0.163
48	105	129.8	2.547	0.193
48	106	83.4	1.247	0.228
48	107	83.4	-0.025	0.005
48	108	231.8	-0.317	0.008
48	109	129.8	17.933	1.355
48	110	129.8	10.609	0.802
48	111	102	-2.47	0.302
48	112	102	6.275	0.768
48	113	148.4	13.183	0.762
48	114	83.4	8.692	1.591
48	115	231.8	11.619	0.275
48	116	129.8	-5.082	0.384
48	117	83.4	3.917	0.717
48	118	129.8	12.154	0.919
48	119	102	-1.347	0.165
48	120	292.2	11.831	0.176
48	121	102	3.647	0.446
48	122	148.4	3.474	0.201
48	123	83.4	-1.09	0.2
48	124	129.8	0.183	0.014
48	125	185.4	-6.549	0.243
48	126	148.4	3.398	0.196
48	127	129.8	1.425	0.108
48	128	83.4	-0.728	0.133
48	129	148.4	6.542	0.378
48	130	185.4	3.595	0.133
48	131	102	-1.275	0.156
48	132	148.4	7.958	0.46
48	133	292.2	68.7	1.024
48	134	231.8	23.906	0.566
48	135	83.4	0.416	0.076
48	136	129.8	2.53	0.191
48	137	129.8	2.409	0.182
48	138	148.4	-3.845	0.222
48	139	129.8	6.654	0.503
48	140	185.4	30.577	1.133

ANEXO 07:

- ANEXO 07-A: CÁLCULOS JUSTIFICATORIOS DE LA DEMANDA DE LA RED DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR VIÑANI CON RESPECTO AL CAUDAL DETERMINADO DE LA NUEVA POBLACIÓN PROYECTADA.
- ANEXO 07-B: MAGMO TRES OBJETIVOS: TABLA DE OBJETIVOS RESULTANTE
- ANEXO 07-C: MAGMO TRES OBJETIVOS: TABLA DE NODOS DE LAS RESPUESTAS
- ANEXO 07-D: MAGMO TRES OBJETIVOS: TABLA DE TUBERÍAS DE LAS RESPUESTAS

ANEXO 07-A
CÁLCULOS JUSTIFICATORIOS DE LA DEMANDA DE LA RED NUEVA PROYECTADA DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR VIÑANI

Nodo	Cota	N° de lotes	Demanda uso de viviendas (l/d)	Demanda Educacion (l/d)	Demanda Areas Verdes	Demanda para otros usos (l/d)	Demanda en Nodos (l/d)	Demanda en Nodos (l/s)
1	465	0	0.00	-	-	0	0.00	0.00
2	468.35	0	0.00	-	-	0	0.00	0.00
3	468.73	0	0.00	-	-	0	0.00	0.00
4	466.74	0	0.00	-	-	0	0.00	0.00
5	462	0	0.00	-	-	0	0.00	0.00
6	460.24	0	0.00	-	-	0	0.00	0.00
7	467.27	39	56143.06	0	1032.09	0	57175.15	0.66
8	463.12	39	56143.06	0	1032.09	0	57175.15	0.66
9	457.76	187	269198.78	0	2972.16	0	272170.94	3.15
10	459.04	145	208737.02	3000	1541.37	2233.63	215512.02	2.49
11	469	109	156912.66	3000	1435.02	4100.77	165448.45	1.91
12	469	129	185703.97	0	3170.40	1387.89	190262.26	2.20
13	459.05	137	197220.50	0	2574.95	0	199795.45	2.31
14	458.43	145	208737.02	0	3129.02	0	211866.04	2.45
15	469.08	137	197220.50	0	3715.98	1106.01	202042.49	2.34
16	469	140	201539.19	0	0.00	0	201539.19	2.33
17	458.11	157	226011.81	4000	0.00	0	230011.81	2.66
18	456.23	56.5	81335.46	0	821.41	3019.53	85176.40	0.99
19	457.53	56.5	81335.46	0	821.41	3019.53	85176.40	0.99
20	466.77	128	184264.40	0	7584.54	0	191848.95	2.22
21	466.5	216	310946.18	0	0.00	0	310946.18	3.60
22	457.32	218	313825.31	0	72270.23	0	386095.54	4.47
23	453.8	174	250484.43	0	3340.41	2685.7	256510.54	2.97
24	462.2	201	289352.70	0	1698.73	0	291051.43	3.37
25	461.91	170	244726.16	0	0.00	0	244726.16	2.83
26	453.55	201	289352.70	4000	0.00	0	293352.70	3.40
27	448.57	125	179945.71	0	6112.68	5095.48	191153.87	2.21
28	456.01	170	244726.16	0	0.00	0	244726.16	2.83
29	456.94	270	388682.73	0	4731.71	0	393414.43	4.55
30	413.8	224	322462.71	0	9654.13	0	332116.84	3.84
31	445.81	279	401638.82	0	0.00	0	401638.82	4.65
32	446.97	192	276396.61	0	7336.37	120187.2	403920.17	4.68
33	458.56	192	276396.61	5000	0.00	3955.33	285351.94	3.30
34	458.45	194	279275.74	4000	0.00	2567.68	285843.42	3.31
35	446.78	172	247605.29	0	0.00	120187.2	367792.49	4.26
36	446.52	194	279275.74	0	4621.82	0	283897.56	3.29
37	457.6	172	247605.29	0	0.00	0	247605.29	2.87
38	457.64	164	236088.77	0	0.00	0	236088.77	2.73
39	446.62	164	236088.77	0	0.00	0	236088.77	2.73
40	444	164	236088.77	0	0.00	0	236088.77	2.73
41	452.81	90	129560.91	0	2820.15	0	132381.06	1.53
42	455.47	51	73417.85	0	2820.15	0	76238.00	0.88
43	415.21	192	276396.61	0	8946.52	0	285343.13	3.30
44	452.81	0	0.00	0	76710.18	1233478.42	1310188.60	15.16
45	443.3	242	348374.89	0	0.00	341798.646	690173.54	7.99
46	438.86	196	282154.87	3000	4171.39	1703.87	291030.13	3.37
47	429.28	196	282154.87	0	4171.39	11703.87	298030.13	3.45
48	431.95	242	348374.89	3000	0.00	0	351374.89	4.07
49	432.26	164	236088.77	7500	5640.31	0	249229.08	2.88

50	443.45	164	236088.77	0	0.00	0	236088.77	2.73
51	445.83	164	236088.77	5000	0.00	3133.51	244222.28	2.83
52	434.64	164	236088.77	0	0.00	120187.2	356275.97	4.12
53	434.12	152	218813.98	0	4826.81	0	223640.79	2.59
54	422.9	158	227451.37	0	0.00	7000	234451.37	2.71
55	421.69	158	227451.37	0	0.00	2892.47	230343.84	2.67
56	431.86	152	218813.98	0	0.00	0	218813.98	2.53
57	431.45	230	331100.10	0	0.00	0	331100.10	3.83
58	421.38	212	305187.92	0	0.00	717.99	305905.91	3.54
59	418.83	172	247605.29	4000	2705.47	1951.86	256262.63	2.97
60	428.82	152	218813.98	0	2317.22	3343.5	224474.70	2.60
61	428.36	155	223132.68	0	3124.72	0	226257.40	2.62
62	418.76	141	202978.76	0	2845.94	0	205824.70	2.38
63	416.2	130	187143.54	3500	0.00	1306.07	191949.61	2.22
64	425.8	174	250484.43	0	0.00	2514.1	252998.53	2.93
65	426.18	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0.00
66	415.66	133	191462.23	0	0.00	0	191462.23	2.22
67	403.94	180	259121.82	6000	6568.27	201.95	271892.04	3.15
68	431.32	269	387243.16	0	5888.99	60114.7	453246.85	5.25
69	409	109	156912.66	0	0.00	0	156912.66	1.82
70	446.3	208	299429.66	0	4107.74	120187.2	423724.60	4.90
71	418.3	116	166989.62	3000	4502.61	1501.14	175993.37	2.04
72	418.3	106	152593.96	0	0.00	0	152593.96	1.77
73	425.77	0	0.00	0	0.00	16127.985	16127.99	0.19
74	409.63	140	201539.19	0	10633.58	0	212172.77	2.46
75	417.46	99	142517.00	3000	0.00	1947	147464.00	1.71
76	425.16	192	276396.61	0	0.00	0	276396.61	3.20
77	420.84	99	142517.00	3000	0.00	1947	147464.00	1.71
78	455	91	131000.48	0	0.00	0	131000.48	1.52
79	445	248	357012.28	7500	0.00	0	364512.28	4.22
80	454	91	131000.48	0	0.00	0	131000.48	1.52
81	443.97	175	251923.99	0	0.00	0	251923.99	2.92
82	445.74	122	175627.01	0	3922.77	0	179549.78	2.08
83	443.26	140	201539.19	0	0.00	0	201539.19	2.33
84	445.17	140	201539.19	0	4038.53	81988.683	287566.40	3.33
85	435.42	140	201539.19	0	0.00	81988.683	283527.88	3.28
86	433.67	140	201539.19	0	4038.53	0	205577.72	2.38
87	433.03	128	184264.40	0	4212.54	0	188476.94	2.18
88	434.73	96	138198.30	0	0.00	179115.132	317313.44	3.67
89	424.96	116	166989.62	0	6539.15	67737.537	241266.30	2.79
90	423.01	116	166989.62	0	0.00	0	166989.62	1.93
91	422.36	224	322462.71	0	9654.13	0	332116.84	3.84
TOTAL			18613584.00	71500	324803.63	2614134.47	21624022.09	250.28

ANEXO 07-B

MAGMO PARA 03 OBJETIVOS: TABLA DE OBJETIVOS RESULTANTES

ID Poblador	Objetivo 01	Objetivo 02	Costo Estimado (S./.)	Objetivo 03	ID Poblador	Objetivo 01	Objetivo 02	Costo Estimado (S./.)	Objetivo 03
1	0.35	0.358	2883450.605	0.6	42	0.417	0.254	2237480.842	0.511
2	0.422	0.28	2398728.231	0.443	43	0.391	0.256	2252876.588	0.479
3	0.406	0.272	2350557.968	0.457	44	0.467	0.244	2179622	0.504
4	0.418	0.278	2389642.226	0.443	45	0.417	0.248	2204467.688	0.493
5	0.446	0.244	2179996.449	0.471	46	0.359	0.266	2315996.165	0.486
6	0.364	0.273	2357251.203	0.479	47	0.368	0.264	2300553.886	0.486
7	0.431	0.251	2220736.796	0.486	48	0.376	0.258	2265633.596	0.486
8	0.36	0.271	2342050.05	0.486	49	0.359	0.263	2296303.099	0.486
9	0.36	0.271	2342050.05	0.486	50	0.37	0.258	2263741.61	0.486
10	0.358	0.279	2394969.929	0.507	51	0.359	0.271	2347591.86	0.486
11	0.36	0.271	2342050.05	0.486	52	0.361	0.263	2295831.327	0.493
12	0.36	0.271	2342050.05	0.486	53	0.364	0.261	2280453.467	0.486
13	0.36	0.271	2342050.05	0.486	54	0.386	0.257	2256255.303	0.5
14	0.361	0.269	2332988.001	0.479	55	0.358	0.267	2321892.886	0.486
15	0.36	0.271	2342050.05	0.486	56	0.36	0.263	2295864.628	0.493
16	0.36	0.271	2342050.05	0.486	57	0.36	0.263	2295664.979	0.493
17	0.5	0.244	2177951.711	0.486	58	0.359	0.263	2296540.117	0.493
18	0.497	0.25	2215238.479	0.45	59	0.358	0.268	2326820.021	0.5
19	0.433	0.245	2182441.509	0.496	60	0.358	0.266	2313878.369	0.493
20	0.397	0.254	2242543.557	0.479	61	0.382	0.256	2253891.545	0.5
21	0.383	0.264	2304587.417	0.479	62	0.502	0.247	2196248.142	0.443
22	0.372	0.263	2292719.627	0.486	63	0.503	0.244	2178124.079	0.457
23	0.37	0.264	2299517.731	0.479	64	0.47	0.253	2234716.664	0.464
24	0.371	0.263	2293989.791	0.486	65	0.501	0.243	2169372.447	0.486
25	0.396	0.255	2248568.976	0.464	66	0.56	0.243	2174102.648	0.464
26	0.372	0.263	2295957.481	0.479	67	0.39	0.258	2265480.129	0.471
27	0.369	0.264	2302764.209	0.486	68	0.39	0.258	2265480.129	0.471
28	0.369	0.26	2278070.403	0.486	69	0.481	0.278	2389935.786	0.425
29	0.371	0.26	2275185.641	0.486	70	0.393	0.276	2377452.614	0.443
30	0.37	0.26	2277394.914	0.486	71	0.366	0.279	2392610.475	0.471
31	0.363	0.267	2321159.501	0.479	72	0.378	0.287	2444968.821	0.464
32	0.488	0.266	2315840.024	0.454	73	0.464	0.274	2361332.404	0.432
33	0.359	0.269	2334450.56	0.486	74	0.387	0.26	2276093.38	0.471
34	0.37	0.264	2299517.731	0.479	75	0.388	0.26	2275731.122	0.471
35	0.36	0.266	2317112.307	0.486	76	0.388	0.26	2275731.122	0.471
36	0.36	0.266	2313865.83	0.479	77	0.387	0.26	2275906.349	0.471
37	0.359	0.265	2309756.754	0.486	78	0.388	0.26	2275731.122	0.471
38	0.359	0.266	2313003.231	0.493	79	0.388	0.26	2275731.122	0.471
39	0.367	0.264	2303345.648	0.486	80	0.388	0.26	2275731.122	0.471
40	0.368	0.261	2281955	0.486	81	0.388	0.26	2275731.122	0.471
41	0.36	0.266	2313865.83	0.479					

ANEXO 07-C

MAGMO PARA 03 OBJETIVOS: TABLA DE NODOS DE LAS RESPUESTAS

ID Poblador	ID Nodo	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)	ID Poblador	ID Nodo	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)
45	2	482.681	14.331	45	47	474.444	45.164
45	3	481.471	12.741	45	48	475.657	43.707
45	4	481.137	14.397	45	49	475.847	43.587
45	5	478.03	16.03	45	50	476.738	33.288
45	6	476.344	16.104	45	51	478.518	32.688
45	7	483.797	16.527	45	52	475.914	41.274
45	8	483.523	20.403	45	53	475.871	41.751
45	9	483.042	25.282	45	54	471.99	49.09
45	10	481.964	22.924	45	55	471.677	49.987
45	11	483.149	14.149	45	56	475.826	43.966
45	12	482.59	13.59	45	57	474.304	42.854
45	13	481.946	22.896	45	58	471.481	50.101
45	14	481.124	22.694	45	59	471.405	52.575
45	15	481.525	12.445	45	60	474.09	45.27
45	16	481.469	12.469	45	61	473.256	44.896
45	17	481.089	22.979	45	62	471.405	52.645
45	18	480.043	23.813	45	63	471.388	55.188
45	19	479.724	22.194	45	64	472.446	46.646
45	20	480.839	14.069	45	65	472.455	46.275
45	21	480.825	14.325	45	66	471.379	55.719
45	22	479.022	21.702	45	67	471.331	67.391
45	23	478.208	24.408	45	68	479.225	47.905
45	24	478.066	15.866	45	69	471.357	62.357
45	25	478.024	16.114	45	70	479.661	33.361
45	26	475.756	22.206	45	71	471.405	53.105
45	27	475.304	26.734	45	72	471.405	53.105
45	28	475.278	19.268	45	73	470.601	44.831
45	29	483.018	26.078	45	74	471.357	61.727
45	30	469.144	55.344	45	75	471.373	53.913
45	31	480.194	34.384	45	76	470.547	45.387
45	32	479.691	32.721	45	77	471.424	50.584
45	33	480.123	21.563	45	78	475.049	20.049
45	34	480.274	21.824	45	79	480.194	35.194
45	35	479.637	32.857	45	80	474.481	20.481
45	36	478.555	32.035	45	81	473.976	30.006
45	37	481.002	23.402	45	82	473.824	28.084
45	38	481	23.36	45	83	472.982	29.722
45	39	478.534	31.914	45	84	472.98	27.81
45	40	476.832	32.832	45	85	472.767	37.347
45	41	479.173	26.363	45	86	470.079	36.409
45	42	479.284	23.814	45	87	469.738	36.708
45	43	469.144	53.934	45	88	469.667	34.937
45	44	477.818	25.008	45	89	469.711	44.751
45	45	476.74	33.44	45	90	469.332	46.322
45	46	474.444	35.584	45	91	469.328	46.968

ANEXO 07-D
MAGMO PARA 03 OBJETIVOS: TABLA DE TUBERÍAS DE LAS RESPUESTAS

ID Poblador	ID Tubería	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	ID Poblador	ID Tubería	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
45	1	329.2	107.8	1.267	45	63	83.4	1.5	0.274
45	2	185.4	20.921	0.775	45	64	83.4	1.357	0.248
45	3	185.4	12.22	0.453	45	65	148.4	7.293	0.422
45	4	102	6.646	0.813	45	66	129.8	3.75	0.283
45	5	148.4	11.881	0.687	45	67	292.2	31.185	0.466
45	6	329.2	142.49	1.674	45	68	148.4	17.423	1.007
45	7	329.2	62.954	0.739	45	69	185.4	4.484	0.166
45	8	292.2	62.294	0.929	45	70	129.8	10.932	0.831
45	9	129.8	6.729	0.509	45	71	292.2	55.392	0.826
45	10	231.8	40.546	0.961	45	72	148.4	-1.769	0.101
45	11	292.2	86.879	1.296	45	73	129.8	7.063	0.534
45	12	148.4	36.42	2.106	45	74	185.4	36.946	1.369
45	13	292.2	53.314	0.795	45	75	231.8	39.938	0.946
45	14	329.2	44.784	0.526	45	76	83.4	3.702	0.678
45	15	329.2	81.057	0.952	45	77	231.8	0.332	0.008
45	16	129.8	4.312	0.326	45	78	148.4	16.635	0.962
45	17	292.2	61.133	0.911	45	79	148.4	8.818	0.51
45	18	292.2	8.701	0.13	45	80	83.4	4.851	0.888
45	19	148.4	5.969	0.345	45	81	102	2.141	0.262
45	20	329.2	66.418	0.78	45	82	231.8	20.051	0.475
45	21	231.8	43.965	1.042	45	83	83.4	4.982	0.912
45	22	292.2	61.535	0.917	45	84	83.4	13.917	2.548
45	23	185.4	20.328	0.753	45	85	102	6.891	0.843
45	24	231.8	-42.975	1.018	45	86	83.4	4.453	0.815
45	25	185.4	23.077	0.854	45	87	83.4	0.529	0.097
45	26	148.4	39.236	2.268	45	88	129.8	3.196	0.242
45	27	83.4	5.575	1.02	45	89	129.8	20.185	1.525
45	28	129.8	10.262	0.775	45	90	102	16.878	2.066
45	29	148.4	9.345	0.541	45	91	102	3.834	0.469
45	30	185.4	30.7	1.137	45	92	102	1.415	0.173
45	31	129.8	-5.235	0.396	45	93	83.4	2.32	0.425
45	32	185.4	-6.375	0.236	45	94	292.2	-1.198	0.018
45	33	231.8	28.47	0.675	45	95	148.4	1.212	0.07
45	34	102	6.077	0.744	45	96	129.8	7.275	0.55
45	35	102	2.677	0.328	45	97	148.4	3.45	0.199
45	36	148.4	19.562	1.131	45	98	185.4	1.74	0.064
45	37	102	-0.467	0.057	45	99	329.2	2.66	0.031
45	38	329.2	52.415	0.615	45	100	129.8	1.42	0.107
45	39	148.4	17.896	1.034	45	101	231.8	0.7	0.017
45	40	148.4	6.17	0.356	45	102	231.8	1.585	0.038
45	41	185.4	29.969	1.109	45	103	329.2	5.633	0.066
45	42	292.2	39.167	0.585	45	104	185.4	3.659	0.136
45	43	129.8	-12.499	0.949	45	105	185.4	2.54	0.094
45	44	83.4	14.732	2.713	45	106	148.4	1.519	0.088
45	45	148.4	7.946	0.46	45	107	102	1.312	0.161
45	46	231.8	33.364	0.791	45	108	102	0.61	0.075
45	47	231.8	37.05	0.879	45	109	129.8	17.2	1.3
45	48	148.4	-9.023	0.521	45	110	102	3.699	0.454
45	49	129.8	1.019	0.08	45	111	185.4	-8.424	0.312
45	50	148.4	16.501	0.956	45	112	129.8	11.981	0.905
45	51	83.4	3.59	0.657	45	113	231.8	22.341	0.529
45	52	292.2	37.349	0.558	45	114	83.4	10.997	2.013
45	53	185.4	25.762	0.952	45	115	83.4	10.043	1.838
45	54	129.8	11.803	0.892	45	116	231.8	1.5	0.036
45	55	148.4	15.237	0.88	45	117	185.4	8.213	0.304
45	56	129.8	12.247	0.925	45	118	102	7.167	0.877
45	57	185.4	11.367	0.421	45	119	83.4	-4.933	0.903
45	58	185.4	32.914	1.219	45	120	102	9.72	1.189
45	59	185.4	35.683	1.321	45	121	129.8	4.537	0.343
45	60	185.4	20.523	0.76	45	122	102	-0.667	0.082
45	61	231.8	45.422	1.076	45	123	83.4	-1.635	0.299
45	62	329.2	7.077	0.083	45	124	102	-5.091	0.623

ANEXO 07-D

MAGMO PARA 03 OBJETIVOS: TABLA DE TUBERÍAS DE LAS RESPUESTAS

ID Poblador	ID Tubería	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	ID Poblador	ID Tubería	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
45	125	129.8	-15.22	1.15	45	133	329.2	78.876	0.927
45	126	185.4	4.242	0.157	45	134	292.2	67.785	1.011
45	127	148.4	4.283	0.248	45	135	129.8	1.378	0.104
45	128	102	-3.881	0.475	45	136	83.4	3.903	0.715
45	129	148.4	9.938	0.575	45	137	129.8	10.423	0.788
45	130	83.4	2.857	0.523	45	138	185.4	-2.115	0.078
45	131	231.8	0.443	0.011	45	139	148.4	3.003	0.174
45	132	129.8	11.881	0.898	45	140	329.2	38.987	0.458

ANEXO 08:

- ANEXO 08-A: CÓDIGO FUENTE: MÉTODO DEL GRADIENTE.
- ANEXO 08-B: CÓDIGO FUENTE: MAGMO

Anexo 08-A
CÓDIGO FUENTE: MÉTODO DE LA GRADIENTE

```
public double[] coeficienteF(double Diametro[], double Caudal[], double Rugosidad[], double Viscosidad, double
margenError){
    double error = 100;
    double LHS;
    double RHS;
    double coef;
    double coefReynolds;
    double coefF[] = new double[Diametro.length];
    for (int i=0;i<Diametro.length;i++){
        coefReynolds = 4*Math.abs(Caudal[i])/(3.14159*Viscosidad*Diametro[i]);

coef=0.001375*(1+Math.pow(2000*Rugosidad[i]/(Diametro[i]*1000)+1000000.0/coefReynolds,0.333333333));
        if (coefReynolds<=2000){
            coef = 64/coefReynolds;
        }
        else{
            while (error > margenError){
                LHS=1/Math.sqrt(coef);
                RHS=-2*Math.log10((Rugosidad[i]/(3.71*Diametro[i]*1000))+2.51/(coefReynolds*Math.sqrt(coef)));
                coef=Math.pow(1/RHS,2.0);
                error=Math.abs(LHS-RHS);
            }
        }
        coefF[i]=coef;
        error=100;
    }
    return coefF;
}

public double[] velocidad(double Diametros[], double Caudales[]){
    double velocidades[] = new double[Diametros.length];
    for (int i=0;i<Diametros.length;i++){
        velocidades[i]=Math.abs(Caudales[i])/(3.141592*Math.pow(Diametros[i],2)/4);
    }
    return velocidades;
}

public double[] perdidaCarga(double coefF[], double longitudes[], double diametros[],double velocidades[]){
    double perdidaCarga[] = new double[coefF.length];
    for (int i=0;i<coefF.length;i++){
        perdidaCarga[i]=(coefF[i]*(longitudes[i]/diametros[i])*(Math.pow(velocidades[i],2)/(2*9.8182)));
    }
    return perdidaCarga;
}

public double[] coefAlfa(double PerdidaCarga[], double Caudal[]){
    double coefAlfa[] = new double[PerdidaCarga.length];
    for (int i=0;i<PerdidaCarga.length;i++){
        coefAlfa[i]=PerdidaCarga[i]/Math.pow(Caudal[i],2);
    }
    return coefAlfa;
}
```

```

public void matrizA11P(double Diametro[], double longitudesTubos[], double Caudal[], double Rugosidad[],
double Viscosidad, double margenError){
    double coefF[] = this.coeficienteF(Diametro, Caudal, Rugosidad, Viscosidad, margenError);
    this.velocidades= this.velocidad(Diametro, Caudal);
    double perdidaCarga[] = this.perdidaCarga(coefF, longitudesTubos, Diametro, this.velocidades);
    double coefAlfa[] = this.coefAlfa(perdidaCarga, Caudal);
    for (int i=0;i<Diametro.length;i++){
        this.matrizA11P[i][i] = coefAlfa[i]*Math.abs(Caudal[i]);
    }
}

public void matrizA11(double Caudal[]){
    int ubicacionValvula;
    for(int i=0;i<Caudal.length;i++)
    {
        this.matrizA11[i][i] = this.matrizA11P[i][i];
    }
    for(int i=0;i<this.numPrv;i++)
    {
        ubicacionValvula = this.idTubos.indexOf(this.tuberiaPrv[i]);
        this.matrizA11[ubicacionValvula][ubicacionValvula] = this.matrizA11[ubicacionValvula][ubicacionValvula] +
(this.presionPrv[i])/ Caudal[ubicacionValvula];
    }
}

public double[] calcObjetivos(double[] diametrosMAGMO,
    double obj01PresiMini, ArrayList<Double> obj02VariA, ArrayList<Double> obj02VariB,
    double obj03VeloMini, double obj03VeloReco, double obj03VeloMaxi
    ){
    this.obj01PresMin = obj01PresiMini;
    this.obj02VarA = obj02VariA;
    this.obj02VarB = obj02VariB;
    this.obj03VelMin = obj03VeloMini;
    this.obj03VelRec = obj03VeloReco;
    this.obj03VelMax = obj03VeloMaxi;
    for (int i=0;i<this.numTubos;i++){
        this.diametrosTubos[i] = diametrosMAGMO[i]/1000.00;
    }
    double diferenciaCalc = 0.0;
    double diferenciaQ = 0.0;
    double caudales1Proceso[] = new double [this.numTubos];

this.matrizA11P(this.diametrosTubos,this.longitudesTubos,this.caudalesTubos,this.rugosidadTuberia,this.viscosida
dFluido,this.margenError);
    this.OmatrizA12 = PrimitiveMatrix.FACTORY.rows(ArrayToDouble(this.matrizA12));
    this.OmatrizA21 = PrimitiveMatrix.FACTORY.rows(ArrayToDouble(this.matrizA21));
    this.OmatrizA10 = PrimitiveMatrix.FACTORY.rows(ArrayToDouble(this.matrizA10));
    this.OmatrizA11P = PrimitiveMatrix.FACTORY.rows(this.matrizA11P);
    this.OmatrizA11 = PrimitiveMatrix.FACTORY.rows(this.matrizA11);
    this.OmatrizQ = PrimitiveMatrix.FACTORY.rows(ArrayToDoubleArray(this.caudalesTubos));
    this.OmatrizHo = PrimitiveMatrix.FACTORY.rows(ArrayToDoubleArray(this.presionReservorios));
    this.Omatrizq = PrimitiveMatrix.FACTORY.rows(ArrayToDoubleArray(this.caudalesConsumo));
    this.OmatrizHi1 =
    ( ( (

```

```

        (this.OmatrizA21.multiplyRight(
            (this.OmatrizN.multiplyRight(this.OmatrizA11P.transpose()))
                .invert()
            )
        ).multiplyRight(OmatrizA12)
    ).invert()
    ).negate()
    ).multiplyRight(
        (this.OmatrizA21.multiplyRight(
            (this.OmatrizN.multiplyRight(this.OmatrizA11P.transpose()))
                .invert()
            )
        ).multiplyRight(
            (this.OmatrizA11P.multiplyRight(this.OmatrizQ)).add(this.OmatrizA10.multiplyRight(this.OmatrizHo))
                .subtract(
                    (this.OmatrizA21.multiplyRight(this.OmatrizQ))
                        .subtract(this.Omatrizq)
                )
            );
    this.OmatrizQi1 =
        (
            (this.OmatrizI.subtract(
                (
                    (this.OmatrizN.multiplyRight(this.OmatrizA11P)).invert()
                ).multiplyRight(this.OmatrizA11P)
            )
            ).multiplyRight(this.OmatrizQ)
        ).subtract(
            (
                (this.OmatrizN.multiplyRight(this.OmatrizA11P)).invert()
            ).multiplyRight(
                (this.OmatrizA12.multiplyRight(this.OmatrizHi1)).add(
                    this.OmatrizA10.multiplyRight(this.OmatrizHo)
                )
            )
        );
    for (int i=0;i<this.numTubos;i++){
        caudalesi1Proceso[i] = this.OmatrizQi1.get(i, 0).doubleValue();
        diferenciaCalc = Math.abs(caudalesi1Proceso[i]-this.caudalesTubos[i]);
        if(diferenciaCalc > diferenciaQ){
            diferenciaQ = diferenciaCalc;
        }
        caudalesTubos[i] = caudalesi1Proceso[i];
    }
    while (diferenciaQ > this.margenError){
        this.OmatrizQ = PrimitiveMatrix.FACTORY.rows(ArrayToDoubleArray(this.caudalesTubos));
    }
    this.matrizA11P(this.diametrosTubos,this.longitudesTubos,this.caudalesTubos,this.rugosidadTuberia,this.viscosidadFluido,this.margenError);
    this.matrizA11(this.caudalesTubos);

```

```

this.OmatrizA11P = PrimitiveMatrix.FACTORY.rows(this.matrizA11P);
this.OmatrizA11 = PrimitiveMatrix.FACTORY.rows(this.matrizA11);
this.OmatrizHi1 =
( ( (
    (this.OmatrizA21.multiplyRight(
        (this.OmatrizN.multiplyRight(this.OmatrizA11P.transpose()))
        ).invert()
    )
    ).multiplyRight(OmatrizA12)
    ).invert()
    ).negate()
).multiplyRight(
    (this.OmatrizA21.multiplyRight(
        (this.OmatrizN.multiplyRight(this.OmatrizA11P.transpose()))
        ).invert()
    )
    ).multiplyRight(
(this.OmatrizA11P.multiplyRight(this.OmatrizQ)).add(this.OmatrizA10.multiplyRight(this.OmatrizHo))
        ).subtract(
            (this.OmatrizA21.multiplyRight(this.OmatrizQ)
            ).subtract(this.Omatrizq)
        )
    );
this.OmatrizQi1 =
(
    (this.OmatrizI.subtract(
        (this.OmatrizN.multiplyRight(this.OmatrizA11P)).invert()
        ).multiplyRight(this.OmatrizQ)
    ).subtract(
        (this.OmatrizN.multiplyRight(this.OmatrizA11P)).invert()
        ).multiplyRight(
            (this.OmatrizA12.multiplyRight(this.OmatrizHi1)).add(
                this.OmatrizA10.multiplyRight(this.OmatrizHo)
            )
        )
    )
);

diferenciaQ = 0;
for (int i=0;i<this.numTubos;i++){
    caudales1Proceso[i] = this.OmatrizQi1.get(i, 0).doubleValue();
    diferenciaCalc = Math.abs(caudales1Proceso[i]-caudalesTubos[i]);
    if(diferenciaCalc > diferenciaQ){
        diferenciaQ = diferenciaCalc;
    }
    this.caudalesTubos[i] = caudales1Proceso[i];
}
}
double volReservorioTotal;
volReservorioTotal = 0;
for (int i = 0; i<this.numNodos;i++){

```

```

        this.piezometricaNodos[i] = this.OmatrizHi1.get(i,0).doubleValue();
        this.presionesNodos[i] = this.piezometricaNodos[i] - this.cotasNodos[i];
        volReservorioTotal= volReservorioTotal + this.caudalesConsumo[i];
    }
    double caudalReservorio[]= new double[1];
    caudalReservorio[0] = volReservorioTotal;
    FObjetivos calcObjetivos = new FObjetivos(this.obj01PresMin,this.matrizA12, this.diametrosTubos,
this.longitudesTubos,
        this.caudalesConsumo,this.cotasNodos,
        this.piezometricaNodos,caudalReservorio, this.presionReservorios, this.velocidades);
    double[] respuesta;
    respuesta = new double[3];
    respuesta[0]=calcObjetivos.FoConfiabilidad();
    if (this.obj02VarA.size() == 1){
        respuesta[1]=calcObjetivos.FoCosto(this.obj02VarA.get(0), this.obj02VarB.get(0));
    }
    respuesta[2]=calcObjetivos.FoConfCinematica(this.obj03VelMin, this.obj03VelRec, this.obj03VelMax);
    return respuesta;
}

public double[] resulRestricc(double restPresMin, double restVelMin, double restVelMax){
    double[] respuesta;
    respuesta = new double[2];
    double contRestVelo=0;
    double contRestPres=0;
    double velocidad;
    double presion;
    this.restPresMin = restPresMin;
    this.restVelMin = restVelMin;
    this.restVelMax = restVelMax;
    for (int i =0;i<this.numTubos;i++){
        velocidad = this.velocidades[i];
        if (velocidad > this.restVelMax || velocidad < this.restVelMin ){
            contRestVelo++;
        }
    }
    respuesta[0] = contRestVelo;

    for (int i=0; i<this.numNodos;i++){
        presion = this.presionesNodos[i];
        if (presion < this.restPresMin){
            contRestPres++;
        }
    }
    respuesta[1] = contRestPres;
    return respuesta;
}

```

redesa

Class Gradiente

java.lang.Object
redesa.Gradiente

```
public class Gradiente  
extends java.lang.Object
```

La clase Gradiente permite el cálculo de las redes de agua mediante el método de la gradiente. Para lo cual recolecta información de las tablas y de los parámetros que recibe.

Constructor Summary

Constructors

Constructor and Description

Gradiente()

El constructor obtiene la información de las tablas de datos.

Method Summary

All Methods Instance Methods Concrete Methods

Modifier and Type	Method and Description
double[]	calc20bjetivos (double[] diametrosMAGMO, double obj01PresiMini, java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VariA, java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VariB) Realiza el cálculo hidráulico de la red por el método de la Gradiente.
double[]	calcObjetivos (double[] diametrosMAGMO, double obj01PresiMini, java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VariA, java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VariB, double obj03VeloMini, double obj03VeloReco, double obj03VeloMaxi) Realiza el cálculo hidráulico de la red por el método de la Gradiente.
void	Calcular (double[] diametrosMAGMO) Realiza el cálculo hidráulico de la red por el método de la Gradiente.

double[]	coefAlfa (double[] PerdidaCarga, double[] Caudal) Calcula los coeficientes Alfa de la ecuación de pérdidas de energía de cada tubería.
double[]	coeficienteF (double[] Diametro, double[] Caudal, double[] Rugosidad, double Viscosidad, double margenError) Calcula los coeficientes de fricción (f) de las tuberías según la ecuación de Darcy Weisbach.
double	estimarCosto (double diamTubos, java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VarA, java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VarB) Calcula los costos de la red, considerándose un solo diámetro.
void	GuardarDatosBD () Guarda la información calculada en la base de datos.
void	matrizA11 (double[] Caudal) Calcula la matriz A11, requiere haberse calculadora la matriz A11'.
void	matrizA11P (double[] Diametro, double[] longitudesTubos, double[] Caudal, double[] Rugosidad, double Viscosidad, double margenError) Conforma la matriz A11'.
double[]	perdidaCarga (double[] coeff, double[] longitudes, double[] diametros, double[] velocidades) Calcula las pérdidas de carga por fricción de las tuberías.
double[]	Procesar (double obj01PresiMini, java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VariA, java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VariB, double obj03VeloMini, double obj03VeloReco, double obj03VeloMaxi) Realiza el cálculo hidráulico de la red por el método de la Gradiente.
double[]	resulRestricc (double restPresMin, double restVelMin, double restVelMax) Calcula el número de restricciones incumplidas tanto en límites de presión y velocidad.
double[]	velocidad (double[] Diametros, double[] Caudales) Calcula las velocidad en las tuberías de la red.

Methods inherited from class java.lang.Object

clone, equals, finalize, getClass, hashCode, notify, notifyAll, toString, wait, wait, wait

Constructor Detail

Gradiente

```
public Gradiente()
```

El constructor obtiene la información de las tablas de datos.

Method Detail

coeficienteF

```
public double[] coeficienteF(double[] Diametro,  
                             double[] Caudal,  
                             double[] Rugosidad,  
                             double Viscosidad,  
                             double margenError)
```

Calcula los coeficientes de fricción (f) de las tuberías según la ecuación de Darcy Weisbach.

Parameters:

Diametro - Diámetros de las tuberías en [m].

Caudal - Caudales de las tuberías en [m³/s].

Rugosidad - Rugosidad de las tuberías en [mm].

Viscosidad - Viscosidad del fluido en [m²/s].

margenError - Margen de error para el proceso iterativo de solución de la ecuación de D-W.

Returns:

Retornan los coeficientes de fricción (f).

velocidad

```
public double[] velocidad(double[] Diametros,  
                           double[] Caudales)
```

Calcula las velocidad en las tuberías de la red.

Parameters:

Diametros - Diámetros de las tuberías en [m].

Caudales - Caudales de las tuberías en [m³/s].

Returns:

Velocidades de las tuberías.

perdidaCarga

```
public double[] perdidaCarga(double[] coefF,  
                             double[] longitudes,  
                             double[] diametros,  
                             double[] velocidades)
```

Calcula las pérdidas de carga por fricción de las tuberías.

Parameters:

coefF - Coeficiente de fricción de las tuberías [m].

longitudes - Longitudes de las tuberías en [m].

diametros - Diámetros de las tuberías en [m].

velocidades - Velocidades de las tuberías en [m/s].

Returns:

Pérdida de carga por fricción de las tuberías [m].

coefAlfa

```
public double[] coefAlfa(double[] PerdidaCarga,  
                          double[] Caudal)
```

Calcula los coeficientes Alfa de la ecuación de pérdidas de energía de cada tubería.

Parameters:

PerdidaCarga - Pérdida de carga de las tuberías [mca]

Caudal - Caudales de las tuberías en [m³/s].

Returns:

Coefficientes Alfa de cada tubería [mca]

matrizA11P

```
public void matrizA11P(double[] Diametro,  
                       double[] longitudesTubos,  
                       double[] Caudal,  
                       double[] Rugosidad,  
                       double Viscosidad,  
                       double margenError)
```

Conforma la matriz A₁₁'.

Parameters:

Diametro - Diámetros de las tuberías en [m].

longitudesTubos - Longitudes de las tuberías en [m].

Caudal - Caudales de las tuberías en [m³/s].

Rugosidad - Rugosidad de las tuberías en [mm].

Viscosidad - Viscosidad del fluido en [m²/s].

margenError - Margen de error para el proceso iterativo de solución de la ecuación de D-W.

matrizA11

```
public void matrizA11(double[] Caudal)
```

Calcula la matriz A11, requiere haberse calculado la matriz A11'.

Parameters:

Caudal - Caudales de las tuberías en [m³/s].

Calcular

```
public void Calcular(double[] diametrosMAGMO)
```

Realiza el cálculo hidráulico de la red por el método de la Gradiente. El cálculo se realiza reemplazando los diámetros obtenidos de las tablas por los recibidos como parámetro.

Parameters:

diametrosMAGMO - Diámetros reemplazantes de las tuberías en [m].

Procesar

```
public double[] Procesar(double obj01PresiMini,  
                        java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VariA,  
                        java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VariB,  
                        double obj03VeloMini,  
                        double obj03VeloReco,  
                        double obj03VeloMaxi)
```

Realiza el cálculo hidráulico de la red por el método de la Gradiente.

Parameters:

obj01PresiMini - Presión mínima para el Objetivo N° 01 [mca].

obj02VariA - Universo de diámetros / Coeficiente A de costo.

obj02VariB - Costos del Universo de diámetros / Coeficiente B de costo.

obj03VeloMini - Velocidad mínima para el Objetivo N° 03 [m/s].

obj03VeloReco - Velocidad recomendable para el Objetivo N° 03 [m/s].

obj03VeloMaxi - Velocidad máxima para el Objetivo N° 03 [m/s].

Returns:

Retorna los coeficientes de los 03 objetivos.

calcObjetivos

```
public double[] calcObjetivos(double[] diametrosMAGMO,  
                             double obj01PresiMini,  
                             java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VariA,  
                             java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VariB,  
                             double obj03VeloMini,  
                             double obj03VeloReco,  
                             double obj03VeloMaxi)
```

Realiza el cálculo hidráulico de la red por el método de la Gradiente. El cálculo se realiza reemplazando los diámetros obtenidos de las tablas por los recibidos como parámetro. Además, permite el cálculo del Objetivo N° 01 y N° 02.

Parameters:

diametrosMAGMO - Diámetros reemplazantes de las tuberías en [m].

obj01PresiMini - Presión mínima para el Objetivo N° 01 [mca].

obj02VariA - Universo de diámetros / Coeficiente A de costo.

obj02VariB - Costos del Universo de diámetros / Coeficiente B de costo.

obj03VeloMini - Velocidad mínima para el Objetivo N° 03 [m/s].

obj03VeloReco - Velocidad recomendable para el Objetivo N° 03 [m/s].

obj03VeloMaxi - Velocidad máxima para el Objetivo N° 03 [m/s].

Returns:

Retorna los coeficientes de los 03 objetivos.

calc2Objetivos

```
public double[] calc2Objetivos(double[] diametrosMAGMO,  
                               double obj01PresiMini,  
                               java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VariA,  
                               java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VariB)
```

Realiza el cálculo hidráulico de la red por el método de la Gradiente. El cálculo se realiza reemplazando los diámetros obtenidos de las tablas por los recibidos como parámetro. Además, permite el cálculo del Objetivo N° 01 y N° 02.

Parameters:

diametrosMAGMO - Diámetros reemplazantes de las tuberías en [m].

obj01PresiMini - Presión mínima para el Objetivo N° 01 [mca].

obj02VariA - Universo de diámetros / Coeficiente A de costo.

obj02VariB - Costos del Universo de diámetros / Coeficiente B de costo.

Returns:

Retorna los coeficientes de los 03 objetivos.

resulRestricc

```
public double[] resulRestricc(double restPresMin,  
                             double restVelMin,  
                             double restVelMax)
```

Calcula el número de restricciones incumplidas tanto en límites de presión y velocidad.

Parameters:

restPresMin - Límite de restricción: Presión mínima [mca].

restVelMin - Límite de restricción: Velocidad mínima [mca].

restVelMax - Límite de restricción: Velocidad máxima [mca].

Returns:

El número de restricciones incumplidas de presión y velocidad.

GuardarDatosBD

```
public void GuardarDatosBD()
```

Guarda la información calculada en la base de datos.

estimarCosto

```
public double estimarCosto(double diamTubos,  
                           java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VarA,  
                           java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VarB)
```

Calcula los costos de la red, considerándose un solo diámetro.

Parameters:

diamTubos - Diámetro que se asignará a todas las tuberías de la red en [mm].

obj02VarA - Universo de diámetros / Coeficiente A de costo.

obj02VarB - Costos del Universo de diámetros / Coeficiente B de costo.

Returns:

Costo de la red en base a un solo diámetro en todas sus tuberías.

[PACKAGE](#) [CLASS](#) [USE](#) [TREE](#) [DEPRECATED](#) [INDEX](#) [HELP](#)

[PREV CLASS](#) [NEXT CLASS](#) [FRAMES](#) [NO FRAMES](#) [ALL CLASSES](#)

[SUMMARY: NESTED](#) | [FIELD](#) | [CONSTR](#) | [METHOD](#) [DETAIL: FIELD](#) | [CONSTR](#) | [METHOD](#)

ANEXO 08-B
CÓDIGO FUENTE: MAGMO

```
public void genPobAleatoria(){
    double[] objetivos;
    for (int i=0; i<this.numPobladoresNR;i++)
    {
        objetivos = new double[5];
        for (int j=0; j<this.numGenes;j++)
        {
            this.memoriaNRgenes[i][j]=this.univDiametros[this.numAleatorio.nextInt(this.numUnivDiametros)];
        }
        objetivos = this.calcObjetivos(this.memoriaNRgenes[i]);
        this.memoriaNRObj1[i]=objetivos[0];
        this.memoriaNRObj2[i]=objetivos[1];
        this.memoriaNRObj3[i]=objetivos[2];
        this.memoriaNRRes1[i]=objetivos[3];
        this.memoriaNRRes2[i]=objetivos[4];
    }
    for (int i=0; i<this.numPobladoresR;i++)
    {
        objetivos = new double[5];
        for (int j=0; j<this.numGenes;j++)
        {
            this.memoriaRgenes[i][j]=this.univDiametros[this.numAleatorio.nextInt(this.numUnivDiametros)];
        }
        objetivos = this.calcObjetivos(this.memoriaRgenes[i]);
        this.memoriaRObj1[i]=objetivos[0];
        this.memoriaRObj2[i]=objetivos[1];
        this.memoriaRObj3[i]=objetivos[2];
        this.memoriaRRes1[i]=objetivos[3];
        this.memoriaRRes2[i]=objetivos[4];
    }
}

public int[] poblacionInicial(){
    int [] poblInicial = new int[this.numPoblInicial];
    for (int i=0; i<this.numPoblInicial;i++)
    {
        poblInicial[i] = this.pobladorAleatorioMemoria();
    }
    return poblInicial;
}

public void seleccionPoblInicial(int[] poblInicial){
    double[] objPob1Inicial;
    double[] objPob2Inicial;
    double[] objPob3Inicial;
    double[] objPob4Inicial;
    double[] objetivo1;
    double[] objetivo2;
    double[] objetivo3;
    int respSelec1;
    int respSelec2;
```

```

objetivo1 = new double[2];
objetivo2 = new double[2];
objetivo3 = new double[2];
double sumRest01;
double sumRest02;
objPob1Inicial = this.getObjRestPobladorMemoria(pobInicial[0]);
objPob2Inicial = this.getObjRestPobladorMemoria(pobInicial[1]);
sumRest01 = objPob1Inicial[3]+ objPob1Inicial[4];
sumRest02 = objPob2Inicial[3]+ objPob2Inicial[4];
if (sumRest01 != sumRest02){
    if (sumRest02 > sumRest01){
        respSelec1 = 0;
    }
    else{
        respSelec1 = 1;
    }
}
else{
    objetivo1[0] = objPob1Inicial[0];
    objetivo2[0] = objPob1Inicial[1];
    objetivo3[0] = objPob1Inicial[2];
    objetivo1[1] = objPob2Inicial[0];
    objetivo2[1] = objPob2Inicial[1];
    objetivo3[1] = objPob2Inicial[2];
    respSelec1 = this.dominancia3obj(objetivo1, objetivo2, objetivo3)[0];
}
objPob3Inicial = this.getObjRestPobladorMemoria(pobInicial[2]);
objPob4Inicial = this.getObjRestPobladorMemoria(pobInicial[3]);
sumRest01 = objPob3Inicial[3]+ objPob3Inicial[4];
sumRest02 = objPob4Inicial[3]+ objPob4Inicial[4];
if (sumRest01 != sumRest02){
    if (sumRest02 > sumRest01){
        respSelec2 = 0;
    }
    else{
        respSelec2 = 1;
    }
}
else{
    objetivo1[0] = objPob3Inicial[0];
    objetivo2[0] = objPob3Inicial[1];
    objetivo3[0] = objPob3Inicial[2];
    objetivo1[1] = objPob4Inicial[0];
    objetivo2[1] = objPob4Inicial[1];
    objetivo3[1] = objPob4Inicial[2];
    respSelec2 = this.dominancia3obj(objetivo1, objetivo2, objetivo3)[0];
}
this.gen1AfterSelecc = this.getPobladorMemoria(pobInicial[respSelec1]);
this.gen2AfterSelecc = this.getPobladorMemoria(pobInicial[respSelec2+2]);
}
public void cruzaPobInicial(){
    int numGenAleatorio;
    for (int i=0; i<this.numGenes;i++)
    {
        numGenAleatorio = this.numAleatorio.nextInt(2);
        if (numGenAleatorio==0){

```

```

        this.gen1AfterCruza[i]=gen1AfterSelecc[i];
    }
    else {
        this.gen1AfterCruza[i]=gen2AfterSelecc[i];
    }
}
for (int i=0; i<this.numGenes;i++)
{
    numGenAleatorio = this.numAleatorio.nextInt(2);
    if (numGenAleatorio==0){
        this.gen2AfterCruza[i]=gen1AfterSelecc[i];
    }
    else {
        this.gen2AfterCruza[i]=gen2AfterSelecc[i];
    }
}
}
public void mutacionPoblncial(){
    if (this.numAleatorio.nextInt(100)<=this.pMutacion){

this.gen1AfterCruza[this.numAleatorio.nextInt(this.numGenes)]=this.univDiametros[this.numAleatorio.nextInt(thi
s.numUnivDiametros)];
    }
    if (this.numAleatorio.nextInt(100)<=this.pMutacion){

this.gen2AfterCruza[this.numAleatorio.nextInt(this.numGenes)]=this.univDiametros[this.numAleatorio.nextInt(thi
s.numUnivDiametros)];
    }
}
public void elitismoPoblncial(){
    this.genesAfterElit = new ArrayList<>();
    this.obj1AfterElit = new ArrayList<>();
    this.obj2AfterElit = new ArrayList<>();
    this.obj3AfterElit = new ArrayList<>();
    this.res1AfterElit = new ArrayList<>();
    this.res2AfterElit = new ArrayList<>();
    double[] objGen1Cruza;
    double[] objGen2Cruza;
    double[] objetivo1;
    double[] objetivo2;
    double[] objetivo3;
    int[] respDomElit;
    objetivo1 = new double[2];
    objetivo2 = new double[2];
    objetivo3 = new double[2];
    objGen1Cruza = calcObjetivos(this.gen1AfterCruza);
    objGen2Cruza = calcObjetivos(this.gen2AfterCruza);
    objetivo1[0] = objGen1Cruza[0];
    objetivo1[1] = objGen2Cruza[0];
    objetivo2[0] = objGen1Cruza[1];
    objetivo2[1] = objGen2Cruza[1];
    objetivo3[0] = objGen1Cruza[2];
    objetivo3[1] = objGen2Cruza[2];
    respDomElit = this.dominancia3obj(objetivo1, objetivo2, objetivo3);
    for (int i = 0; i<respDomElit.length;i++)
    {

```



```

this.conIteraciones++;
double obj1;
double obj2;
double obj3;
double obj2costo;
ArrayList<Integer> dominados;
int idDom;
double[] gen;
for (int i=0;i<this.genesAfterElit.size();i++){
    obj1 = this.obj1AfterElit.get(i);
    obj2 = (this.obj2AfterElit.get(i)-this.menorCosto)/(this.mayorCosto-this.menorCosto);
    obj2costo = this.obj2AfterElit.get(i);
    obj3 = this.obj3AfterElit.get(i);
    gen = this.genesAfterElit.get(i);
    int contDominados = 0;
    for (int j=0; j<this.contMemExt; j++)
    {
        if (this.obj1MallaAdap.get(j)<=obj1 && this.obj2MallaAdap.get(j)<=obj2 &&
this.obj3MallaAdap.get(j)<=obj3){
            contDominados = contDominados + 1;
        }
    }
    if (contDominados == 0){
        for (int k=0;k<this.contMemExt;k++){
            idDom = this.contMemExt - k - 1;
            if (this.obj1MallaAdap.get(idDom)>obj1 && this.obj2MallaAdap.get(idDom)>obj2 &&
this.obj3MallaAdap.get(idDom)>obj3)
            {
                this.contMemExt = this.contMemExt - 1;
                this.obj1MallaAdap.remove(idDom);
                this.obj2MallaAdap.remove(idDom);
                this.obj2CostoMallaAdap.remove(idDom);
                this.obj3MallaAdap.remove(idDom);
                this.coord1MallaAdap.remove(idDom);
                this.coord2MallaAdap.remove(idDom);
                this.coord3MallaAdap.remove(idDom);
                this.mallaGenes.remove(idDom);
            }
        }
        int coord1 = (int) (obj1/this.esp1MallaAdap);
        int coord2 = (int) ((obj2-this.menorCosto)/this.esp2MallaAdap);
        int coord3 = (int) (obj3/this.esp3MallaAdap);
        if (1==2){
            if (this.coord1MallaAdap.indexOf(coord1)==-1 && this.coord2MallaAdap.indexOf(coord2)==-1 &&
this.coord3MallaAdap.indexOf(coord3)==-1){
                }
            }
        }
        else{
            this.contMemExt = this.contMemExt + 1;
            this.obj1MallaAdap.add(obj1);
            this.obj2MallaAdap.add(obj2);
            this.obj2CostoMallaAdap.add(obj2costo);
            this.obj3MallaAdap.add(obj3);
            this.coord1MallaAdap.add(coord1);
            this.coord2MallaAdap.add(coord2);
            this.coord3MallaAdap.add(coord3);
        }
    }
}

```

```

        this.mallaGenes.add(gen);
    }
}
}
}
public double[] calcObjetivos(double[] diametrosMAGMO){
    double[] respuesta;
    double[] respuestaObj;
    double[] respuestaRest;
    respuesta = new double[5];
    respuestaObj = gradCalc.calcObjetivos(diametrosMAGMO,this.obj01PresMin, this.obj02VarA, this.obj02VarB,
        this.obj03VelMin, this.obj03VelRec, this.obj03VelMax);
    respuestaRest = gradCalc.resulRestricc(this.restPresMin, this.restVelMin,this.restVelMax);
    respuesta[0] = respuestaObj[0];
    respuesta[1] = respuestaObj[1];
    respuesta[2] = respuestaObj[2];
    respuesta[3] = respuestaRest[0];
    respuesta[4] = respuestaRest[1];
    return respuesta;
}
public int pobladorAleatorioMemoria(){
    int numeroAleatorio = this.numAleatorio.nextInt(this.numPobladores);
    return numeroAleatorio;
}
public double[] getPobladorMemoria(int idPoblador){
    double[] poblador;
    poblador = new double [this.numGenes];
    if (idPoblador<this.numPobladoresNR)
    {
        poblador = this.memoriaNRgenes[idPoblador];
    }
    else
    {
        poblador = this.memoriaRgenes[idPoblador - this.numPobladoresNR];
    }
    return poblador;
}

public double[] getObjRestPobladorMemoria(int idPoblador){
    double[] respuesta;
    respuesta = new double [5];
    if (idPoblador<this.numPobladoresNR)
    {
        respuesta[0] = this.memoriaNRObj1[idPoblador];
        respuesta[1] = this.memoriaNRObj2[idPoblador];
        respuesta[2] = this.memoriaNRObj3[idPoblador];
        respuesta[3] = this.memoriaNRRes1[idPoblador];
        respuesta[4] = this.memoriaNRRes2[idPoblador];
    }
    else
    {
        respuesta[0] = this.memoriaRObj1[idPoblador-this.numPobladoresNR];
        respuesta[1] = this.memoriaRObj2[idPoblador-this.numPobladoresNR];
        respuesta[2] = this.memoriaRObj3[idPoblador-this.numPobladoresNR];
        respuesta[3] = this.memoriaRRes1[idPoblador-this.numPobladoresNR];
        respuesta[4] = this.memoriaRRes2[idPoblador-this.numPobladoresNR];
    }
}

```

```

    }
    return respuesta;
}

public int[] dominancia3obj(double[] obj1, double[] obj2, double[] obj3){
    int contadorDominados;
    int numElementos;
    ArrayList<Integer> dominantes;
    numElementos = obj1.length;
    dominantes = new ArrayList<Integer>();
    for (int i=0;i<numElementos;i++)
    {
        contadorDominados = 0;
        for (int j=0; j<numElementos;j++)
        {
            if (i!=j){
                if (obj1[i]>=obj1[j] && obj2[i]>=obj2[j] && obj3[i]>=obj3[j])
                {
                    contadorDominados = contadorDominados +1;
                }
            }
            else
            {
                {
            }
        }
        if (contadorDominados==0)
        {
            dominantes.add(i);
        }
    }
    if (dominantes.size()==0)
    {
        dominantes.add(0);
    }
    int[] respuesta = new int[dominantes.size()];
    for (int i = 0; i<dominantes.size();i++)
    {
        respuesta[i] = dominantes.get(i);
    }
    return respuesta;
}
}

```

redesa

Class MAGMO

java.lang.Object
redesa.MAGMO

```
public class MAGMO  
extends java.lang.Object
```

Constructor Summary

Constructors

Constructor and Description

MAGMO(int numGenes, int numMemPob, double porcMemNR, double[] univDiametros, int numMemExt, int div1Malla, int div2Malla, int div3Malla, double obj01PresMini, java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VarA, java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VarB, double obj03VeloMini, double obj03VeloReco, double obj03VeloMaxi, double restPresMini, double restVelMini, double restVelMaxi, double poMutacion)

La clase MAGMO permite el diseño óptimo de redes de agua en base al empleo del Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo

Method Summary

All Methods Instance Methods Concrete Methods

Modifier and Type	Method and Description
double[]	calcObjetivos (double[] diametrosMAGMO) Obtiene los 03 objetivos del poblador en base a sus genes (diámetros).
void	cruzaPobInicial () Ejecuta el operador genético de de cruza de los padres seleccionados de la población inicial.
int[]	dominancia3obj (double[] obj1, double[] obj2, double[] obj3) Evalúa la dominancia, en base a 03 objetivos.
void	elitismoPobInicial ()

	Ejecuta el operador genético de elitismo
void	filtroPobInicial() Realiza el proceso de filtro de los hijos resultantes.
void	genPobAleatoria() Genera los pobladores con genes aleatorios y que conformarán la población reemplazable y no reemplazable.
double[]	getObjRestPobladorMemoria(int idPoblador) permite obtener los objetivos y restricciones del poblador ID existente en la memoria de población.
double[]	getPobladorMemoria(int idPoblador) Permite obtener los genes (diámetros) de un poblador de la memoria de población mediante su ID.
void	mallaAdaptativa() Ejecuta el proceso evaluación de los pobladores postulantes.
void	mutacionPobInicial() Ejecuta el operador genético de mutación
int[]	poblacionInicial() Genera la población inicial tomada aleatoriamente de la memoria de población.
int	pobladorAleatorioMemoria() Permite obtener un ID aleatorio de la memoria de población.
void	seleccionPobInicial(int[] pobInicial) Realiza el proceso de selección de padres de la población inicial.

Methods inherited from class java.lang.Object

clone, equals, finalize, getClass, hashCode, notify, notifyAll, toString, wait, wait, wait

Constructor Detail

MAGMO

```
public MAGMO(int numGenes,
             int numMemPob,
             double porcMemNR,
             double[] univDiametros,
             int numMemExt,
             int div1Malla,
             int div2Malla,
             int div3Malla,
```

```
double obj01PresMini,  
java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VarA,  
java.util.ArrayList<java.lang.Double> obj02VarB,  
double obj03VeloMini,  
double obj03VeloReco,  
double obj03VeloMaxi,  
double restPresMini,  
double restVelMini,  
double restVelMaxi,  
double poMutacion)
```

La clase MAGMO permite el diseño óptimo de redes de agua en base al empleo del Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo

Parameters:

numGenes - Número de genes (tuberías) que posee cada poblador (red de agua).

numMemPob - Número de pobladores en la memoria de población.

porcMemNR - Porcentaje de memoria no reemplazable respecto a la memoria de población.

univDiametros - Universo de características genéticas (diámetros) que pueden ser asignadas a los pobladores.

numMemExt - Tamaño de la memoria de población externa.

div1Malla - Número de divisiones de la malla adaptativa en el eje de Objetivos 01.

div2Malla - Número de divisiones de la malla adaptativa en el eje de Objetivos 02.

div3Malla - Número de divisiones de la malla adaptativa en el eje de Objetivos 03.

obj01PresMini - Parámetro del objetivo nº 01: Presión Mínima [mca].

obj02VarA - Parámetro del objetivo nº 02: Universo de diámetros / Coeficiente A de costo.

obj02VarB - Parámetro del objetivo nº 02: Costos del universo de diámetros / Coeficiente B de costo.

obj03VeloMini - Parámetro del objetivo nº 03: Velocidad mínima en las tuberías [m/s].

obj03VeloReco - Parámetro del objetivo nº 03: Velocidad recomendable en las tuberías [m/s].

obj03VeloMaxi - Parámetro del objetivo nº 03: Velocidad máxima en las tuberías [m/s].

restPresMini - Parámetro de restricción nº 01: Presión mínima [mca].

restVelMini - Parámetro de restricción nº 02: Velocidad mínima [m/s].

restVelMaxi - Parámetro de restricción nº 02: Velocidad máxima [m/s].

poMutacion - Porcentaje de mutación.

Method Detail

genPobAleatoria

```
public void genPobAleatoria()
```

Genera los pobladores con genes aleatorios y que conformarán la población reemplazable y no reemplazable.

poblacionInicial

```
public int[] poblacionInicial()
```

Genera la población inicial tomada aleatoriamente de la memoria de población.

Returns:

Retorna los índices de ubicación en la memoria de población de los que conforman la población inicial.

seleccionPobInicial

```
public void seleccionPobInicial(int[] pobInicial)
```

Realiza el proceso de selección de padres de la población inicial.

Parameters:

pobInicial - IDs de los pobladores iniciales.

cruzaPobInicial

```
public void cruzaPobInicial()
```

Ejecuta el operador genético de de cruza de los padres seleccionados de la población inicial.

mutacionPobInicial

```
public void mutacionPobInicial()
```

Ejecuta el operador genético de mutación

elitismoPobInicial

```
public void elitismoPobInicial()
```

Ejecuta el operador genético de elitismo

filtroPoblInicial

```
public void filtroPobInicial()
```

Realiza el proceso de filtro de los hijos resultantes. Se verifica la dominancia sobre algún elemento de la memoria reemplazable. En caso cumplan las restricciones, postularán a la malla adaptativa.

mallAdaptativa

```
public void mallAdaptativa()
```

Ejecuta el proceso evaluación de los pobladores postulantes. Los postulantes son evaluados bajo el criterio de dominancia.

calcObjetivos

```
public double[] calcObjetivos(double[] diametrosMAGMO)
```

Obtiene los 03 objetivos del poblador en base a sus genes (diámetros). El proceso se realiza mediante el cálculo hidráulico de la red por la clase gradiente. Para el cálculo de los objetivos, se da los parámetros respectivos a la clase gradiente.

Parameters:

diametrosMAGMO - Diámetros del poblador del cual se evaluarán sus objetivos.

Returns:

Retorna los valores de los 03 objetivos.

pobladorAleatorioMemoria

```
public int pobladorAleatorioMemoria()
```

Permite obtener un ID aleatorio de la memoria de población.

Returns:

Retorna un ID aleatorio de la memoria de población

getPobladorMemoria

```
public double[] getPobladorMemoria(int idPoblador)
```

Permite obtener los genes (diámetros) de un poblador de la memoria de población mediante su ID.

Parameters:

idPoblador - ID del poblador que se requiere obtener sus genes.

Returns:

Retorna los genes del poblador indicado por su ID de la memoria de población.

getObjRestPobladorMemoria

```
public double[] getObjRestPobladorMemoria(int idPoblador)
```

permite obtener los objetivos y restricciones del poblador ID existente en la memoria de población.

Parameters:

idPoblador - ID del poblador que se requiere obtener sus genes.

Returns:

Retorna los 03 objetivos y 02 restricciones del poblador ID existente en la memoria de población.

dominancia3obj

```
public int[] dominancia3obj(double[] obj1,  
                             double[] obj2,  
                             double[] obj3)
```

Evalúa la dominancia, en base a 03 objetivos.

Parameters:

obj1 - Valor del objetivo nº 01.

obj2 - Valor del objetivo nº 02.

obj3 - Valor del objetivo nº 03.

Returns:

Retorna la evaluación de dominancia de los parámetros ingresados.

[PACKAGE](#) [CLASS](#) [USE](#) [TREE](#) [DEPRECATED](#) [INDEX](#) [HELP](#)

[PREV CLASS](#) [NEXT CLASS](#) [FRAMES](#) [NO FRAMES](#) [ALL CLASSES](#)

[SUMMARY: NESTED](#) | [FIELD](#) | [CONSTR](#) | [METHOD](#) [DETAIL: FIELD](#) | [CONSTR](#) | [METHOD](#)

ANEXO 09:

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0701001 INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EN LAS PAMPAS DE VÑANI- TACNA
 Subpresupuesto 001 INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EN LAS Fecha presupuesto 30/09/2008

Partida 01.01 SUMINISTRO DE TUBERIA PVC Ø90MM C-7.5 UF ISO 4422 C/ANILLO

Rendimiento m/DIA MO. EQ. Costo unitario directo por : m 13.59

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Materiales					
0201800004	LUBRICANTE	gln		0.0200	21.60	0.43
0272010047	TUBERIA PVC Ø90MM C-7.5 UF ISO 4422 C/ANILLO	m		0.1750	75.19	13.16
						13.59

Partida 01.02 SUMINISTRO DE TUBERIA PVC Ø110MM C-7.5 UF ISO 4422 C/ANILLO

Rendimiento m/DIA MO. EQ. Costo unitario directo por : m 21.31

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Materiales					
0201800004	LUBRICANTE	gln		0.0200	21.60	0.43
0272010048	TUBERIA PVC Ø110MM C-7.5 UF ISO 4422 C/ANILLO	m		0.1750	119.30	20.88
						21.31

Partida 01.03 SUMINISTRO DE TUBERIA PVC Ø140MM C-7.5 UF ISO 4422 C/ANILLO

Rendimiento m/DIA MO. EQ. Costo unitario directo por : m 30.87

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Materiales					
0201800004	LUBRICANTE	gln		0.0200	21.60	0.43
0272010054	TUBERIA PVC Ø140MM C-7.5 UF ISO 4422 C/ANILLO	m		0.1750	173.97	30.44
						30.87

Partida 01.04 SUMINISTRO DE TUBERIA PVC Ø160MM C-7.5 UF ISO 4422 C/ANILLO

Rendimiento m/DIA MO. EQ. Costo unitario directo por : m 38.55

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Materiales					
0201800004	LUBRICANTE	gln		0.0200	21.60	0.43
0272010049	TUBERIA PVC Ø160MM C-7.5 UF ISO 4422 C/ANILLO	m		0.1750	217.85	38.12
						38.55

Partida 01.05 SUMINISTRO DE TUBERIA PVC Ø200MM C-7.5 UF ISO 4422 C/ANILLO

Rendimiento m/DIA MO. EQ. Costo unitario directo por : m 58.91

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Materiales					
0201800004	LUBRICANTE	gln		0.0200	21.60	0.43
0272010050	TUBERIA PVC Ø200MM C-7.5 UF ISO 4422 C/ANILLO	m		0.1750	334.18	58.48
						58.91

Partida 01.06 SUMINISTRO DE TUBERIA PVC Ø250MM C-7.5 UF ISO 4422 C/ANILLO

Rendimiento m/DIA MO. EQ. Costo unitario directo por : m 99.67

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Materiales					
0201800004	LUBRICANTE	gln		0.0200	21.60	0.43
0272010051	TUBERIA PVC Ø250MM C-7.5 UF ISO 4422 C/ANILLO	m		0.1750	567.11	99.24
						99.67

Partida 01.07 SUMINISTRO DE TUBERIA PVC Ø315MM C-7.5 UF ISO 4422 C/ANILLO

Rendimiento m/DIA MO. EQ. Costo unitario directo por : m 149.61

ANEXO 10:

MANUAL DE USO DEL SOFTWARE

MAGMOREDES Y PAPERS IMPORTANTES

MANUAL PARA EL DISEÑO Y MODELACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA CON MAGMOREDES VS 1.0

MAGMOREDES

El programa MAGMOREDES ha sido elaborado con la finalidad de contar con una herramienta útil para el diseño optimizado de redes de distribución de Agua.

El presente programa ha sido elaborado en el lenguaje de programación orientado a objetos JAVA, el cual posee una gran variedad de librerías para el cálculo matricial, interfaz moderna y portabilidad para su distribución.

Magmoredes, permite modelar reservorios, tuberías, bombas y válvulas; realiza el cálculo de las redes en base al método de la gradiente y realiza el diseño optimizado empleando el microalgoritmo genético multiobjetivo, basado en tres objetivos (confiabilidad resiliente, costo y confiabilidad hidráulica).

Requerimientos del Software

Sistema Operativo: Windows Vista, Windows 7, Windows 8

1. ELABORACIÓN DEL SOFTWARE DE APOYO PARA EL DISEÑO ÓPTIMO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

El diseño óptimo de redes de distribución de agua, consiste en la búsqueda de las combinaciones de diámetros de cada una de las tuberías que conforman la red, de tal manera que cumpla con ser el mejor grupo de respuestas para una serie de objetivos buscados, además de cumplir las restricciones propuestas.

El diseño óptimo está basado en tres funciones objetivos, las cuales son: máxima confiabilidad resiliente de la red, mínimo costo y máxima confiabilidad cinemática. Asimismo se busca la implementación de dos tipos de restricciones: presión mínima y límites de velocidad permisibles.

Los algoritmos genéticos son uno de los métodos que permiten la solución de problemas mediante un proceso evolutivo, el cual ya era conocido con mucha anterioridad (Darwin 1859), pero no era posible emplearse debido a la necesidad de una gran cantidad de cálculos que permitan modelar una población inicial y las generaciones descendientes.

Esta herramienta se basa en los siguientes tres módulos:

- **Método de la Gradiente:** Comprende la elaboración de un motor de cálculo, el cual permite en base a la estructura de sus genes (diámetros) de cada individuo, obtener sus características hidráulicas para un entorno ya definido (topología, caudales de consumo, fuentes de agua, entre otros). Este proceso permitirá la obtención de los datos necesarios para el cálculo de las funciones objetivos. Así mismo proporcionará el número de restricciones incumplidas.
- **Funciones Objetivo:** Comprende la representación de las características que se buscan en una red, reflejado en tres objetivos tales como: la confiabilidad resiliente de la red, menor costo de la red y la confiabilidad cinemática. El cálculo de las funciones se basa en los resultados obtenidos del módulo Método de la Gradiente.

- Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo (MAGMO): Permite generar poblaciones descendientes optimizadas en sus funciones objetivos y obtener respuestas que cumplan con las restricciones impuestas. Para la obtención de los datos a evaluar emplea los dos módulos descritos anteriormente.

1.1. Método del Gradiente

El método del gradiente realiza el cálculo hidráulico de una red de agua, en base a las propiedades hidráulicas, las mismas que debes ser ingresadas al programa, siendo los datos necesarios:

- Nodos: Los nodos de la red modelan los puntos extremos de un tramo de tubería, los cuales tienen las siguientes propiedades:

Cuadro 1: Propiedades de los nodos

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ID	-	Número entero de identificación.
Etiqueta	-	Etiqueta de descripción del nodo.
Cota	[metros]	Nivel del terreno en el nodo.
Caudal de consumo	[litros por segundo]	Caudal de consumo del nodo.
X	[Adimensional]	Coordenada X para su representación en la interfaz gráfica de dibujo.
Y	[Adimensional]	Coordenada Y para su representación en la interfaz gráfica de dibujo.

- Tuberías: El modelado de las tuberías, se refiere a la unión de tramos nodo – nodo, nodo – reservorio. Las tuberías tienen las siguientes propiedades:

Cuadro 2: Propiedades de las tuberías

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ID	-	Número entero de identificación de la tubería.
Etiqueta	-	Etiqueta de descripción de la tubería.
Nodo Inicial	-	ID del Nodo/Reservorio Inicial de la tubería. El ID es un valor positivo para hacer referencia a un Nodo y negativo para hacer referencia a un Reservorio.
Nodo Final	-	ID del Nodo/Reservorio Final de la tubería. El ID es un valor positivo para hacer referencia a un Nodo y negativo para hacer referencia a un Reservorio.
Longitud	[metros]	Longitud real de la tubería entre el tramo Nodo – Nodo o Reservorio – Nodo.
Diámetro	[milímetros]	Diámetro interno de la tubería en el tramo respectivo.
Coefficiente de rugosidad cinemática	[mm]	Coefficiente de rugosidad cinemática de la tubería en el tramo respectivo.

- Reservorios: Son la fuente de agua, y quienes dan la carga hidráulica inicial a la red. Tienen las siguientes propiedades:

Cuadro 3: Propiedades de las Reservorios

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ID	-	Número entero de identificación del Reservoirio.
Etiqueta	-	Etiqueta de descripción del Reservoirio.
Cota	[metros]	Nivel del terreno donde se ubica el Reservoirio.
Altura de agua	[metro de columna de agua]	Nivel mínimo de la altura de agua del Reservoirio.
X	[Adimensional]	Coordenada X para su representación en la interfaz gráfica de dibujo.
Y	[Adimensional]	Coordenada Y para su representación en la interfaz gráfica de dibujo.

- Válvulas reductoras de presión (VRP): su modelamiento permite representar la disminución de la línea de gradiente hidráulico en un valor definido, ante altas presiones de servicio. Tiene las siguientes propiedades:

Cuadro 4: Propiedades de las Válvulas

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ID	-	Número entero de identificación del Reservoirio.
Etiqueta	-	Etiqueta de descripción del Reservoirio.
Tubería	-	ID de la tubería donde se encuentra ubicada la VRP

Reducción de Presión	[metro de columna de agua]	Nivel Mínimo de la altura de agua del Reservorio.
----------------------	----------------------------	---

Además de los datos mencionados para el modelamiento, es requerida la siguiente información:

Cuadro 5: Datos requeridos para el modelamiento

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Tolerancia de error	[Adimensional]	Valor del error mínimo tolerable en los procesos de cálculo.
Restricciones: presión mínima	[metros de columna de agua]	Presión mínima aceptable en los nodos.
Restricciones: velocidad mínima	[metros por segundo]	Velocidad mínima aceptable en las tuberías.
Restricciones: velocidad máxima	[metros por segundo]	Velocidad máxima aceptable en las tuberías.

Con los datos para el modelamiento, se inicializa el proceso de cálculo, el cual tiene los siguientes procesos:

- Se realiza la formulación matricial de los datos ingresados.
- Se realiza la construcción del resto de matrices que requieren de cálculos basados en las matrices de los datos ingresados.
- Las matrices principales de este tipo son la A_{11} y A_{11}' (matriz diagonal de $NT \times NT$), que representan los coeficientes de rugosidad de cada tubería para los valores en los caudales en circulación de cada tubería en la iteración respectiva.
- Estas matrices irán variando en cada iteración debido a la variación de los caudales en las tuberías, hasta que estos cumplan la tolerancia de error definida.
- Para el cálculo de estos coeficientes, se hace uso de las ecuaciones de Darcy – Weisbach para la pérdida de carga por fricción en las tuberías y la ecuación de Colebrook – White que permite calcular el factor de fricción de

Darcy. Un punto importante es la diferenciación del tipo de flujo presente en cada iteración en la tubería, debido a que ante flujos laminares la ecuación del factor de fricción varía, por tanto en las tuberías que presenten un número de Reynolds cercano a cero, generado por bajas velocidades y caudales respecto al diámetro y tipo de material de la tubería, no se tendría una convergencia en el proceso iterativo del cálculo del factor de fricción de Darcy.

- Una vez conformadas todas las matrices necesarias, se inicia el proceso iterativo mediante el cálculo de las ecuaciones matriciales respectivas. En cada iteración se realiza el recálculo de las matriz A11 y A11'
- Una vez que los caudales converjan y cumplan la tolerancia de error, se procede al cálculo del resto de características tales como: las presiones en los nodos, las velocidades en las tuberías, entre otros. Además se contabiliza el número de restricciones incumplidas de presiones y velocidades.

1.2. Funciones Objetivo

El módulo de cálculo de objetivos, permite la obtención de tres funciones que caracterizan la confiabilidad de la red, el costo y su confiabilidad cinemática. Recibe como parámetros los valores calculados por el módulo Método del Gradiente y los propiamente necesarios.

Para la mejor representación y entendimiento de las tres funciones objetivo en su optimización a través del MAGMO, se han realizado las modificaciones necesarias a fin de que los mínimos valores de cada función representen los mejores valores. Lo que permitirá plantear al MAGMO un problema de minimización en tres funciones.

Las consideraciones y procedimiento para su cálculo se describen a continuación:

1.2.1. Confiabilidad resiliente de la red

Para la el cálculo del coeficiente que represente la confiabilidad resiliente de la red, se requiere los siguientes datos:

Cuadro 6: Datos para el cálculo del coeficiente de confiabilidad de la Red

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Número de Tuberías	-	Números de las tuberías modeladas en la red.
Diámetros de las Tuberías	[milímetros]	Diámetros internos de las tuberías de la red.
Número de Nodos	-	Número de nodos modelados en la red.
Altura Piezométrica en los Nodos	[metro de columna de agua]	Altura Piezométrica calculada en la red modelada.
Cotas en los Nodos	[metros]	Cotas topográficas de los nodos modelados en la red.
Caudales de consumos en los Nodos	[litros por segundo]	Caudales de consumo en los nodos modelados en la red.
Presión Mínima	[metro de columna de agua]	Presión mínima de confiabilidad admitida en cada nodo modelado en la red.
Número de Reservorios	-	Número de reservorios modelados en la red.
Altura piezométrica en los Reservorios	[metro de columna de agua]	Altura Piezométrica de los Reservorios modelados en la red.
Caudales de salida en los Reservorios	[litros por segundo]	Caudales de salida de cada reservorios modelado en la red.
MatrizA12	-	Matriz que representan la relación de las conexiones existentes de nodo – nodo o reservorio – nodo.

El procesamiento de cálculo del coeficiente se describe a continuación:

- Se ingresan todos los datos anteriormente descritos.
- Se procede al cálculo de la confiabilidad geométrica de la red, la cual es la relación de variedad de diámetros que convergen en cada nodo

- Se calcula la carga hidráulica disponible sobre el nivel mínimo de presión aceptable.
- Una vez obtenido los componentes de la ecuación de confiabilidad de la red, se procede al cálculo respectivo.
- La confiabilidad resiliente de la red tiene un valor entre -1,00 y 1,00, siendo el mejor valor los valores que tiendan a 1,00 o sean igual a él. Los valores negativos representan que se ha tenido una cantidad de cargas hidráulicas negativas muy superior a las positivas.
- Para el mejor entendimiento de los resultados del diseño óptimo mediante el MAGMO, se ha invertido la representación del coeficiente de confiabilidad resiliente de la red, mediante la siguiente relación:

$$\text{Confiabilidad resiliente de la Red}' = 1 - \text{Confiabilidad resiliente de la red}$$
 Lo cual genera que los valores mínimos que tiendan a 0,00 o sean igual a él, representen mejor confiabilidad resiliente de la red.
 Los valores que en un inicio son negativos (<0,00) serán penalizados con el valor que representaría la menor confiabilidad resiliente (1,00).

1.2.2. Costo de la Red

El costo de la red es posible estimarse en base a dos formas:

- Estimación del costo de acuerdo a la sumatoria de los valores de cada tubería calculadas en base a su longitud y costo por metro lineal dependiendo del diámetro. Para lo cual deberá ingresarse dichos costos.
- Estimación del costo en base a una ecuación de costo.
- La ecuación de costo es aplicable a cada tramo de tubería y depende de dos coeficientes que conforman la ecuación y del diámetro presente en el tramo.

Lo que se busca es el menor costo de la red, pero para un mejor entendimiento y representación de este objetivo es que es necesario generar límites mínimos y máximos. Por lo que se procede al cálculo del costo mínimo de la red, asignando a todos los tramos de tubería el diámetro mínimo existente en el universo de diámetros; y el costo máximo asignando a todos los tramos de tuberías el diámetro máximo existente en el universo de diámetros.

1.2.3. Confiabilidad Cinemática

La confiabilidad cinemática representa el cumplimiento de los límites de velocidad, representando por un coeficiente que va desde 0,00 hasta 1,00, siendo 0,00 el valor que representa la mejor confiabilidad cinemática y 1,00 el de la peor

confiabilidad cinemática. La forma representación, siendo el valor mínimo el mejor, responde al fin de realizar un mejor entendimiento de los resultados del diseño óptimo mediante el MAGMO.

Los límites de velocidad que se tienen en cuenta para su formulación son:

Cuadro 7: Límites de velocidad consideradas en la función Confiabilidad Cinemática

PROPIEDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Velocidad mínima	[metros por segundo]	Velocidad mínima aceptable en las tuberías. Según el RNE Norma OS 050 tiene un valor de 0,6 m/s.
Velocidad máxima recomendable	[metros por segundo]	Velocidad máxima recomendable en las tuberías. Según el RNE Norma OS 050 tiene un valor de 3,0 m/s.
Velocidad máxima admitida	[metros por segundo]	Velocidad mínima aceptable en las tuberías. Según el RNE Norma OS 050 tiene un valor de 5,0 m/s.

Definidos los límites de velocidad, el procedimiento de cálculo de este objetivo inicia dándose una valoración a cada tubería de acuerdo al valor de velocidad que tiene, según los límites definidos señalados en el Cuadro 8.

Por lo tanto los tramos de tuberías cuyas velocidades se encuentren dentro de la velocidad mínima y máxima recomendable tendrán el coeficiente de 0,00; que representan la mejor confiabilidad. Los tramos de tuberías con velocidades comprendidas entre los límites de velocidad máxima recomendable y máxima admitida tendrán el coeficiente de 0,50, los tramos de tuberías que estén por debajo de la velocidad mínima y por encima de la velocidad máxima admitida serán penalizados con el valor de 1,00.

La sumatoria de todos los coeficientes de los tramos de tuberías divididos entre el número de tuberías, permite obtener el coeficiente final que representa la confiabilidad cinemática de la red.

Cuadro 8: Valoración de la velocidad para la función de Confiabilidad Cinemática

LÍMITE	VALOR DE CONFIABILIDAD DE LA TUBERÍA
$0 < V_t < V_{min}$	0,00
$V_{min} < V_t < V_{max\ rec}$	1,00
$V_{max\ rec} < V_t < V_{max\ Adm}$	0,50
$V_{max\ Adm} < V_t$	0,00
Donde: <ul style="list-style-type: none"> • V_t: Velocidad en la tubería • V_{min}: Velocidad mínima en la tubería • $V_{max\ rec}$: Velocidad máxima recomendable • $V_{max\ adm}$: Velocidad máxima admitida 	

1.2.4. Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo (MAGMO)

La aplicación del Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo en el presente trabajo, basa su funcionamiento en cuatro aspectos:

- La Memoria de Población.
- Los Ciclos de Micro Algoritmos Genéticos Multiobjetivo.
- El Filtro
- La Memoria Externa.

Se requiere de los siguientes datos generales iniciales para su proceso:

Cuadro 9: Datos iniciales para el desarrollo del MAGMO

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
Número de generaciones	Número que determinará la cantidad de iteraciones a considerar en el MAGMO.
Número de genes de los pobladores	Cantidad de tuberías de la red de distribución de agua.
Porcentaje de la población no reemplazable	Determinará la cantidad de población no reemplazable seleccionada aleatoriamente de la población total.

Tamaño de la población no reemplazable	Se determina con la multiplicación del porcentaje de población no reemplazable ingresada de la población total.
Tamaño de la población reemplazable	Se obtiene de la diferencia de la población total y la población no reemplazable.
Tamaño de la memoria externa	Número máximo de pobladores que conforman el Óptimo de Pareto, siempre y cuando cumpla las restricciones impuestas.
Número de divisiones para la malla adaptativa – Objetivo 01	Número de divisiones que conformará el hipercono para el Objetivo 01
Número de divisiones para la malla adaptativa – Objetivo 02	Número de divisiones que conformará el hipercono para el Objetivo 02
Número de divisiones para la malla adaptativa – Objetivo 03	Número de divisiones que conformará el hipercono para el Objetivo 03
Universo de diámetros	Diámetros que serán considerados para el análisis del diseño de las tuberías

Además, requiere de los parámetros referentes a cada función objetivo y restricciones.

1.2.4.1. La Memoria de Población

Es necesario inicializar la población mediante la generación de pobladores. Cada poblador es generado mediante la elección aleatoria de diámetros para cada tramo de tubería; los diámetros disponibles para ser elegidos son lo que se han definido previamente en el universo de diámetros.

La generación de pobladores aleatoria se realiza solo por primera vez, la cual es insertada en la memoria de población, y está dividida en dos partes: la memoria de población reemplazable (MPR) y la memoria de población no reemplazable (MPNR). El número de individuos para cada población es definido dentro de los parámetros de inicialización del MAGMO.

Además, para cada poblador generado se realiza el cálculo de sus características hidráulicas mediante el Método del Gradiente, también de sus objetivos y número

de restricciones mediante el módulo respectivo. Dichos valores son almacenados como propiedades de cada poblador para usarlos directamente en los procesos siguientes y no realizar repetitivamente el proceso de cálculo (principalmente el módulo del Método del Gradiente).

La memoria de población solo permitirá la inserción de nuevos pobladores en la memoria de población reemplazable mediante la sustitución de un poblador existente, cuando se cumpla la condición de que el postulante a ingresar domine al poblador existente.

La población no reemplazable irá siendo modificada continuamente, de acuerdo a los pobladores que vaya evolucionando los ciclos de micro algoritmos genéticos multiobjetivo.

1.2.4.2. Los Ciclos de Micro Algoritmos Genéticos Multiobjetivo

Un ciclo de MAGMO, está compuesto por el siguiente proceso:

- Población Inicial

Un ciclo de MAGMO se inicializa eligiendo cuatro pobladores al azar de la memoria de población, siendo la elección indistinta de si pertenece a la MPR o MPNR. Formando así a la población inicial, que será sometida a los operadores genéticos (selección, cruza, mutación y elitismo)

- Selección

Una vez determinado los cuatro individuos, se procede a la selección de los dos padres mediante la metodología de torneo, en la cual los pobladores se dividen en dos pares y cada par es sometido a contienda. El ganador de cada torneo es determinado en primera instancia de acuerdo al número de restricciones incumplidas respecto a los límites de presión mínima, velocidad mínima y máxima, siendo ganador el que tenga menor número de incumplimientos. En caso ambos tengan el mismo número de incumplimientos de restricciones, se pasa a una segunda instancia donde el ganador se define en base al criterio de dominancia, la dominancia es verificada de acuerdo a sus tres objetivos. Si no se puede determinar la dominancia de uno sobre otro, se elegirá al azar a uno de ellos como ganador del torneo. Del operador genético de selección resultan dos pobladores padres.

- Cruza

Los dos padres resultantes anteriormente, son sometidos al operador genético de cruza para la obtención de dos hijos. El proceso para la obtención de un hijo consiste en la combinación de sus genes (diámetros de cada tramo de tubería), el método que se ha empleado es la combinación de N puntos aleatoria, donde para

cada tramo se obtiene un número al azar que determina si se heredará el diámetro del Padre N° 01 o el Padre N° 02. El proceso del operador genético se repite para la obtención de los dos hijos.

- Mutación

Completado el operador genético de Cruza, ambos hijos resultantes serán sometidos al operador genético de mutación, el cual consiste en la probabilidad de cambio aleatorio en uno de sus genes, lo que representa que el diámetro de uno de los tramos de tubería cambiará a otro de los que se encuentra en el universo de diámetros definidos.

- Elitismo

Los hijos luego de ser afectados por el operador genético de mutación, son sometidos al de Elitismo, el cual determina la dominancia entre los hijos, siendo necesario para ello primero el cálculo de sus características mediante el módulo del método del gradiente (también se determina las restricciones que si bien no serán evaluadas en el presente operador genético, servirán para el proceso de memoria externa) y segundo el cálculo de sus objetivos mediante el módulo funciones objetivos.

Con los parámetros hallados se verifica la dominancia, es así que si uno de los hijos domina al otro, el dominado es eliminado, teniéndose como respuesta al dominante; en caso no se pueda determinar la dominancia de uno sobre otro, ambos se darán como respuestas del ciclo del micro algoritmo genético multiobjetivo y pasarán a los procesos de Filtro y Memoria Externa.

1.2.4.3. El Filtro

El proceso de filtro realiza la evaluación de la inserción de las respuestas en la memoria de población reemplazable, mediante la metodología de torneo con un poblador elegido aleatoriamente de la MPR, dicho poblador original solo es reemplazado en caso se cumpla el criterio de dominancia para los tres objetivos. Para tal efecto no se tiene en cuenta la evaluación del cumplimiento de las restricciones, con el objetivo de poder dar la oportunidad de seguir evolucionando.

1.2.4.4. La Memoria Externa

El proceso de memoria externa permite el almacenado de las respuestas correspondientes al óptimo de Pareto y solo si cumplen con las restricciones impuestas. La memoria Externa posee un límite de tamaño, el cual es determinado en los parámetros iniciales, así mismo estará compuesto por hipercubos de 3 dimensiones, determinados por el número de divisiones indicadas como

parámetros iniciales. Una vez concluido el proceso de guardado de las respuestas que conforman el óptimo de Pareto, se volverá a iniciar desde el proceso del ciclo de micro algoritmo genético multiobjetivo en un número de generaciones determinado en los parámetros iniciales.

2. TALLER : CONSTRUYENDO UNA RED

Usted dibujará el sistema de distribución para una red de agua: La Red Ejemplo 01.
(Saldarriaga 2007)

Objetivo: Diseñar todas las tuberías de la Red Ejemplo 01 para unos datos y características hidráulicas y topológicas dadas.

Para lograr este objetivo se utilizará el escenario de interfaz y las alternativas disponibles en MAGMOREDES para crear la simulación

Simulación 1:

Se realizará la simulación bajo las condiciones normales de demanda y con los diámetros de tubería actuales.

Simulación 2:

Se utilizará el MAGMO considerando 03 funciones objetivos (máxima confiabilidad resiliente de la red, mínimo costo, confiabilidad cinemática)

Simulación 3:

Se utilizará el MAGMO considerando 02 funciones objetivo (máxima confiabilidad resiliente, mínimo costo).

DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN 1:

1.1. Dibujo de la Red

El software permite el ingreso gráfico de los elementos de la red, por lo que se procedió a modelar los nodos, tuberías reservorio y VRP existente en la red.

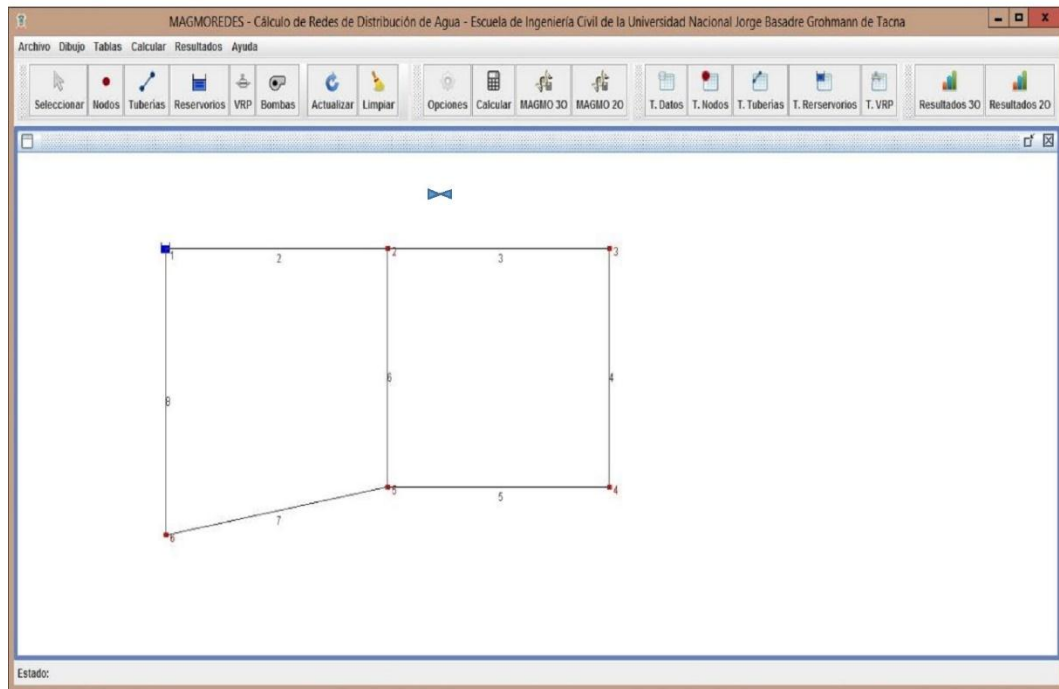


Figura 1: Área y elementos de dibujo

1.2. Completado de datos

Una vez dibujada la red, se procede a completar la información de los elementos modelados mediante las tablas respectivas (tabla de nodos, tabla de tuberías, tabla de reservorios y tabla de VRP).

En la tabla de nodos, se procede a completar los datos de etiqueta, caudal de demanda y cota.

Tabla de datos - Nodos								
Archivo Edición Ayuda								
Id	Etiqueta	Caudal de Demanda (l/s)	Cota (m)	Presión (mca)	AlturaPiezometrica (m)	X	Y	
2	n-2	60.0	0.0	0.0	0.0	500.0	100.0	
3	n-3	40.0	0.0	0.0	0.0	800.0	100.0	
4	n-4	30.0	0.0	0.0	0.0	800.0	350.0	
5	n-5	30.0	0.0	0.0	0.0	500.0	350.0	
6	n-6	40.0	0.0	0.0	0.0	200.0	400.0	

Guardar Cancelar

Figura 2: Tabla de datos - Nodos

En la tabla de tuberías, se procede a completar los datos de etiqueta, longitud, diámetros y coeficiente de rugosidad.

Tabla de datos - Tuberías												
Archivo Edición Ayuda												
Id	Etiqueta	Longitud (m)	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	C. Rugosidad	Viscosidad	Válvula Check?	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	...
1	1	500.0	-1	2	254.0	null	0.06	0.0	0	0.0	0.0	...
2	2	400.0	2	3	152.4	null	0.06	0.0	0	0.0	0.0	...
3	3	200.0	4	3	101.6	null	0.06	0.0	0	0.0	0.0	...
4	4	400.0	5	4	152.4	null	0.06	0.0	0	0.0	0.0	...
5	5	200.0	2	5	101.6	null	0.06	0.0	0	0.0	0.0	...
6	6	600.0	6	5	203.2	null	0.06	0.0	0	0.0	0.0	...
7	7	300.0	-1	6	254.0	null	0.06	0.0	0	0.0	0.0	...

Guardar Cancelar

Figura 3: Tabla de datos – Tuberías

En la tabla de reservorios, se procede a completar los datos de etiqueta, elevación y altura piezométrica.

Id	Etiqueta	Elevación (m)	Altura Piezométrica (m)	X	Y
1	R-1	100.0	100.0	200.0	100.0

Figura 4: Tabla de datos – Reservorios

En la tabla de VRP, se procede a completar los datos de coeficiente Km, ubicación en la tubería

Id	Etiqueta	Distancia(m)	Diámetro (m)	Coeficiente km	Tubería
1	V-1	250.0	0.1524	10.0	2

Figura 5: Tabla de datos – Válvula Reductora de Presión VRP

1.3. Cálculo de la Red

Para el cálculo de la red, se procede a definir los parámetros de cálculo. Para el Método del Gradiente, se procede a definir la tolerancia de error y la viscosidad cinemática del fluido.

Funciones Objetivo: Costo de las Tuberías

Método de la Gradiente: Parámetro

Funciones Objetivo: Parámetros

Tolerancia de error:

Viscosidad cinemática del fluido (m2/s):

RESULTADOS:

- Objetivo 01 - Confiabilidad de la Red:

- Objetivo 02 - Costo Estimado de la Red:

- Objetivo 03 - Confiabilidad Cinemática de la Red:

Calcular

Figura 6: Configuración para el cálculo de redes – Parámetros del método de la gradiente

Para realizar el cálculo de los 03 objetivos (confiabilidad resiliente, costo estimado, confiabilidad cinemática). Para lo cual se definen sus parámetros para cada objetivo.

Figura 7: Configuración para el cálculo de redes – Parámetros de las funciones objetivo

Una vez definidos los parámetros, se procede a calcular la red.

1.4. Resultados

Finalizando el proceso se presentan en la ventana de cálculo los resultados referentes a los 03 objetivos.

Figura 8: Resultados del cálculo de redes - Objetivos

Los resultados referentes a los nodos de la red como son sus presiones y altura piezométrica, se muestran en la Tabla de datos – Nodos.

Id	Etiqueta	Caudal de Demanda (l/s)	Cota (m)	Presión (mca)	Altura Piezométrica (m)	X	Y
2	n-2	60.0	0.0	92.97	92.97	500.0	100.0
3	n-3	40.0	0.0	81.375	81.375	800.0	100.0
4	n-4	30.0	0.0	81.8	81.8	800.0	350.0
5	n-5	30.0	0.0	89.821	89.821	500.0	350.0
6	n-6	40.0	0.0	96.73	96.73	200.0	400.0

Figura 9: Resultados del cálculo de redes – Tabla de nodos

Los resultados referentes a las tuberías de la red como son los caudales y velocidades, se muestran en la Tabla de datos – Tuberías.

Id	Etiqueta	Longitud (m)	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	C. Rugosidad (mm)	Viscosidad	Válvula Che.	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
1	1	500.0	-1	2	254.0		0.06	0.0	0	106.646	2.105
2	2	400.0	2	3	152.4		0.06	0.0	0	36.592	2.006
3	3	200.0	4	3	101.6		0.06	0.0	0	3.408	0.42
4	4	400.0	5	4	152.4		0.06	0.0	0	33.408	1.831
5	5	200.0	2	5	101.6		0.06	0.0	0	10.053	1.244
6	6	600.0	6	5	203.2		0.06	0.0	0	53.354	1.644
7	7	300.0	-1	6	254.0		0.06	0.0	0	93.354	1.842

Figura 10: Resultados del cálculo de redes – Tabla de Tuberías

Desarrollo de la Simulación 2:

El diseño optimizado de tuberías empleando MAGMOREDES permite obtener las respuestas objetivo de la malla adaptativa y sus características hidráulicas calculadas de los nodos y tuberías (presión y altura piezométrica en los nodos, velocidades y caudales en las tuberías).

Además se mantiene un historial de la evolución de las soluciones realizadas por el micro algoritmo genético multiobjetivo.

A continuación se presenta el proceso de diseño con MAGMOREDES.

2.1. Dibujo de la red y completado de datos

El proceso de dibujo y completado de datos de la red, se la misma manera como se describió en el cálculo de redes. Para el cálculo mediante el empleo de MAGMO, no existe la necesidad del completado de datos de los diámetros de la tubería.

2.2. Configuración de los parámetros del Diseño de redes por MAGMO

Se procede a definir los parámetros del MAGMO como son: el número de generaciones, tamaño de memoria de población, porcentaje de memoria no reemplazable, tamaño de la memoria externa, divisiones de malla adaptativa en sus 03 objetivos e intervalo del historial de la malla adaptativa.

Parámetros del MAGMO	
Número de Generaciones	1000
Número de Genes de los Pobladores	7
Tamaño de Memoria de Población	50
Porcentaje de la Memoria No Reemplazable (%)	25
Tamaño de Memoria No Reemplazable	13
Tamaño de Memoria Reemplazable	37
Tamaño de la Memoria Externa	100
División Malla Adaptativa - Objetivo 01	25
División Malla Adaptativa - Objetivo 02	25
División Malla Adaptativa - Objetivo 03	25
Intervalo Malla Adaptativa - Historial	100
% de Mutación	5

Figura 11: Diseño de redes por MAGMO – Parámetros del MAGMO

También se definen los parámetros de las funciones objetivos y restricciones como son:

- Para el objetivo 01 referido a la confiabilidad de la red, la presión mínima de servicio.
- Para el objetivo 02 referido al costo de la red, los coeficientes de la función de costo.
- Para el objetivo 03 referido a la confiabilidad cinemática, la velocidad mínima, velocidad máxima recomendable y velocidad máxima admitida.
- Para las restricciones, la presión mínima, velocidad mínima y velocidad máxima.

Figura 12: Diseño de redes por MAGMO – Parámetros de funciones objetivos y restricciones

Se procede a ingresar el universo de genes (diámetros), del cual el MAGMO seleccionará para generar la población aleatoria. Además, en vez de indicarse los coeficientes de la función de costo de la red, se puede ingresar directamente los costos por metro lineal para cada diámetro.

Diámetros	Costo por Metro Lineal
101.6	10.0
152.4	20.0
203.2	30.0
254.0	40.0

Figura 13: Diseño de redes por MAGMO – Universo de genes

Ingresado todos los parámetros se procede al inicio del proceso de diseño de la red.

2.3. Resultados del diseño de redes por MAGMO

Uno de los resultados que se obtienen son los objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante. Además se muestra su respectiva gráfica.

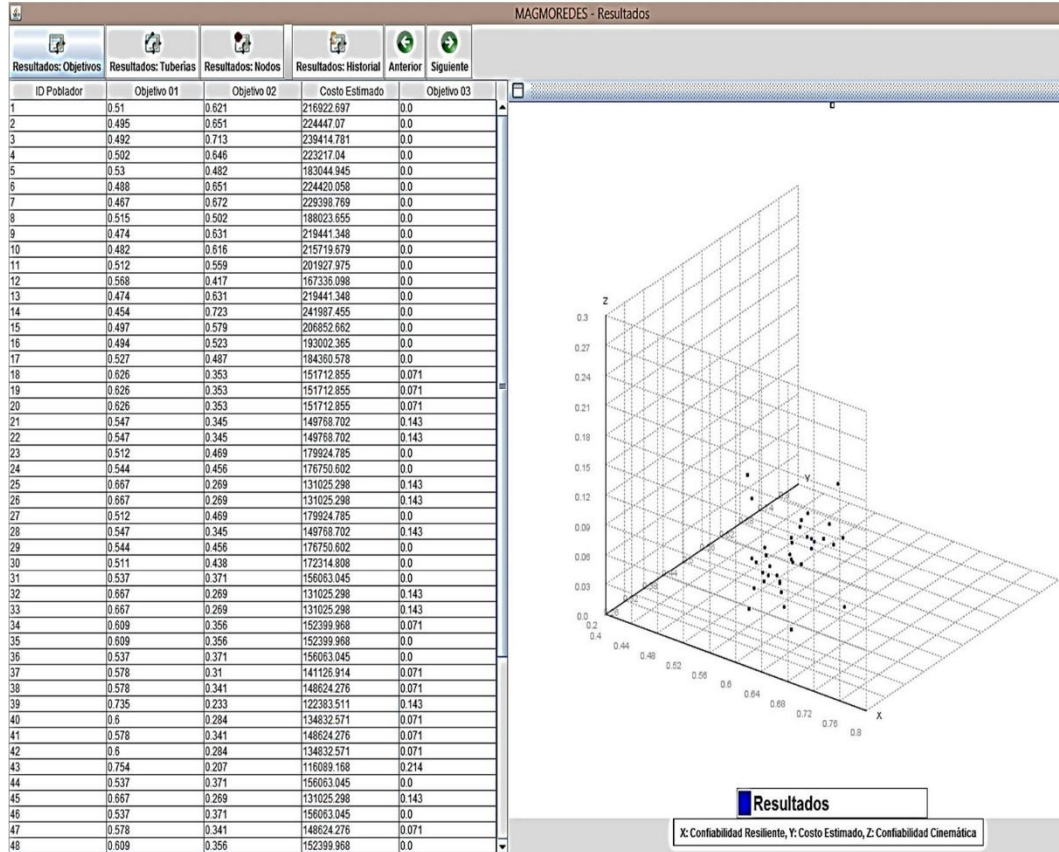


Figura 14: Resultados – Tabla y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

También se tiene como resultado la tabla de tuberías de los pobladores de la malla adaptativa resultante, en la cual se indica su identificación de poblador y tramo de tubería, su diámetro, caudal y velocidad para cada tramo.

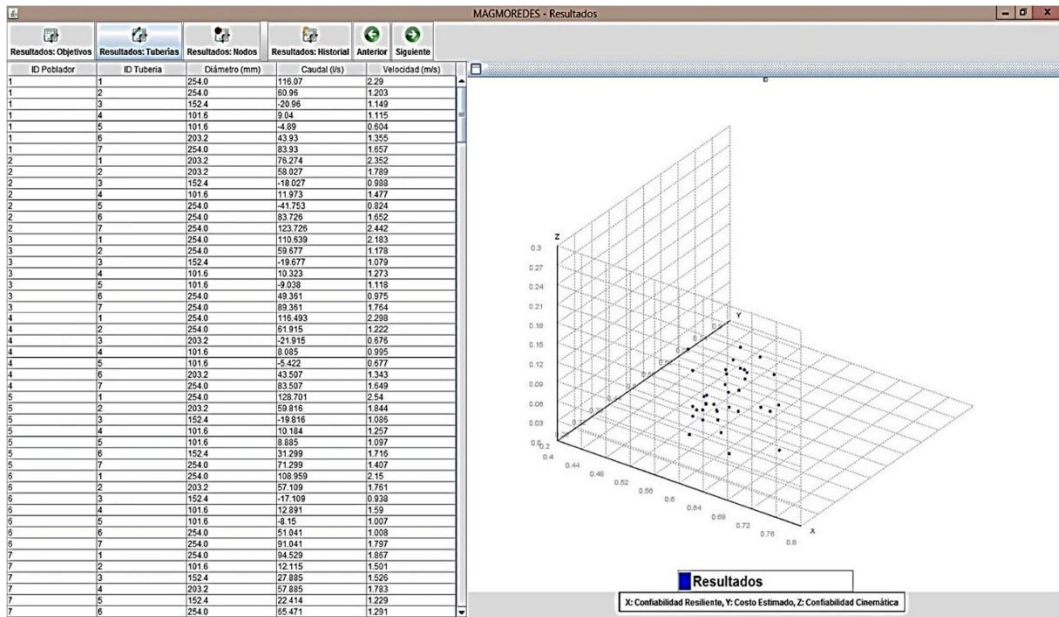


Figura 15: Resultados – Tabla de tuberías y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

También se tiene como resultado la tabla de nodos de los pobladores de la malla adaptativa resultante, en la cual se indica su identificación de poblador y nodo, su altura piezométrica y presión de cada nodo.

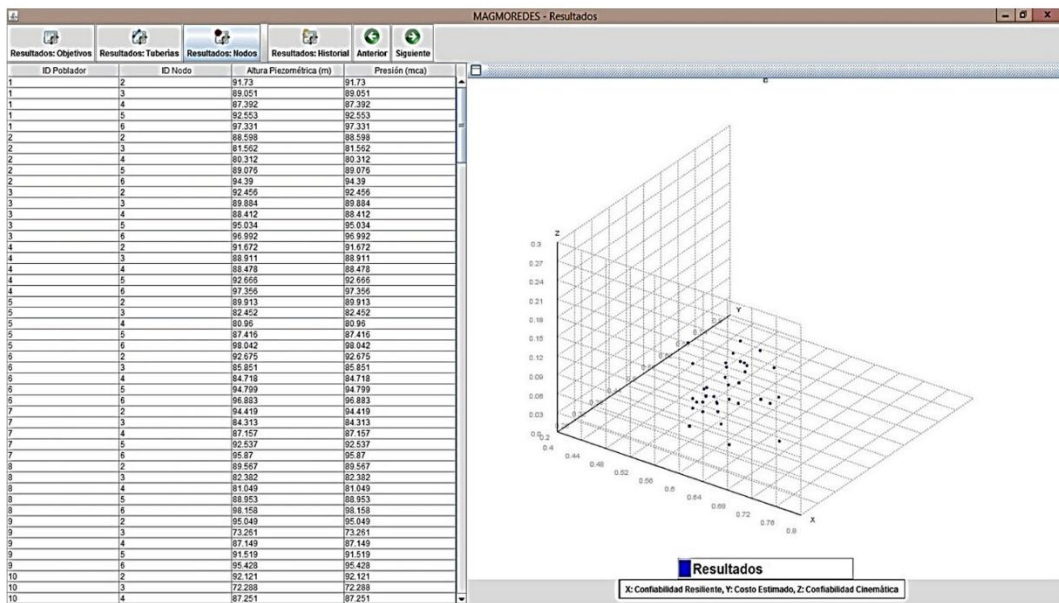


Figura 16: Resultados – Tabla de nodos y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

Finalmente se tiene como resultado la tabla del historial de evolución de la malla adaptativa a lo largo del proceso. Pudiendo mostrarse las gráficas de cada intervalo guardado en el historial, las gráficas se muestran a continuación.

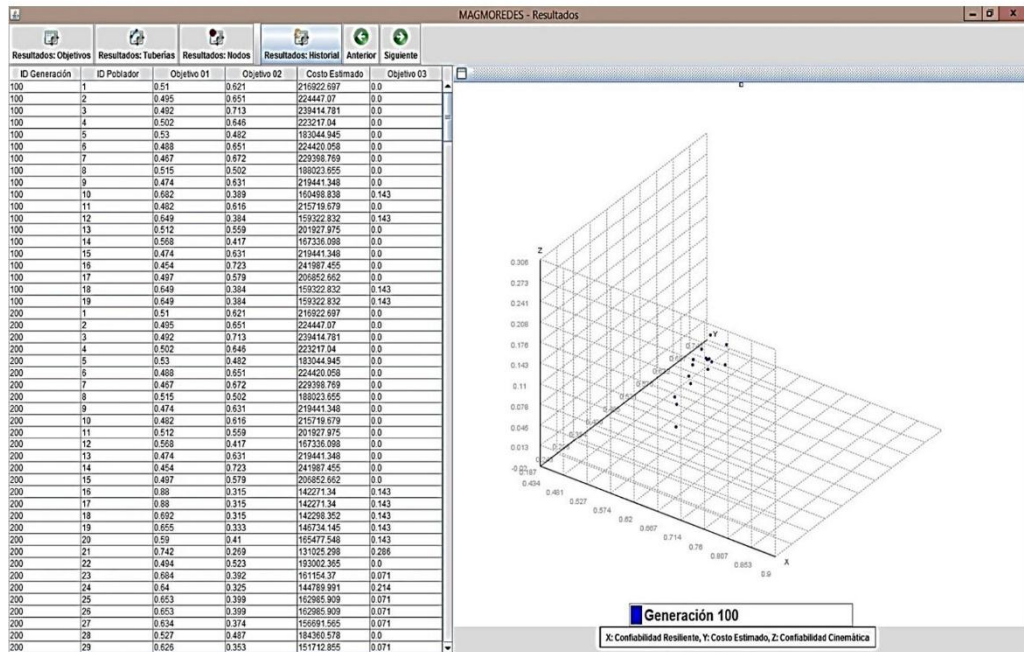
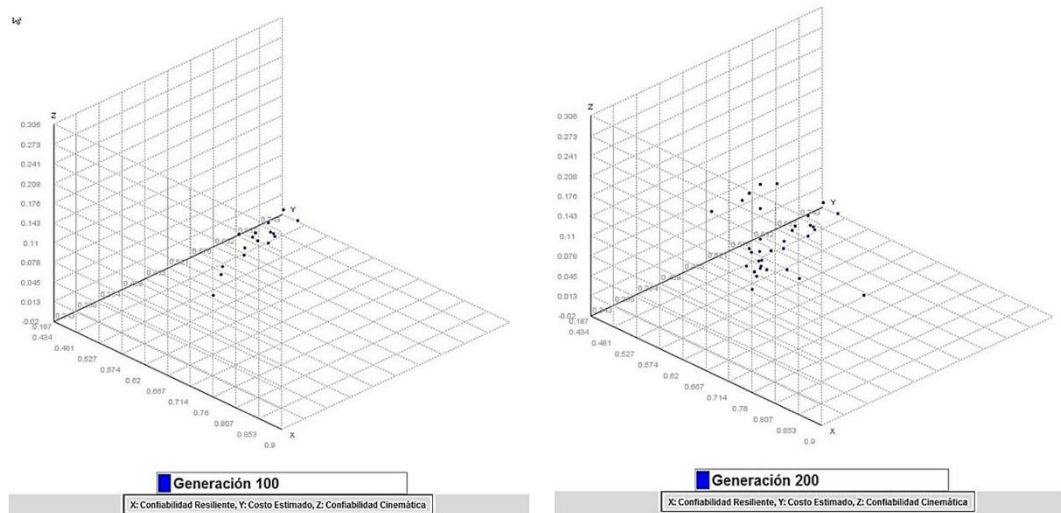
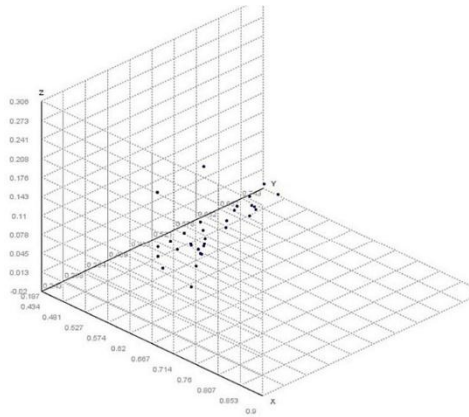


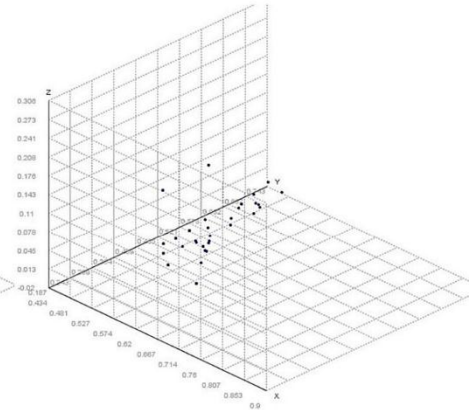
Figura 17: Resultados – Tabla historial de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa





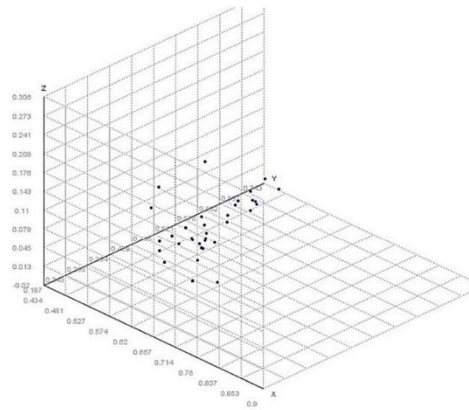
Generación 300

X: Confiabilidad Resiliente, Y: Costo Estimado, Z: Confiabilidad Cinemática



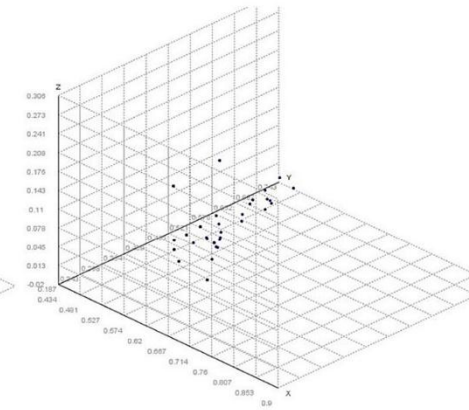
Generación 400

X: Confiabilidad Resiliente, Y: Costo Estimado, Z: Confiabilidad Cinemática



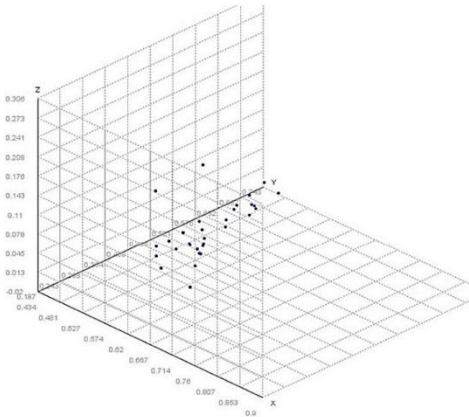
Generación 700

X: Confiabilidad Resiliente, Y: Costo Estimado, Z: Confiabilidad Cinemática



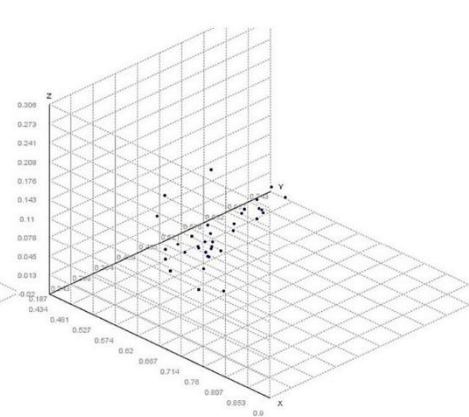
Generación 500

X: Confiabilidad Resiliente, Y: Costo Estimado, Z: Confiabilidad Cinemática



Generación 600

X: Confiabilidad Resiliente, Y: Costo Estimado, Z: Confiabilidad Cinemática



Generación 800

X: Confiabilidad Resiliente, Y: Costo Estimado, Z: Confiabilidad Cinemática

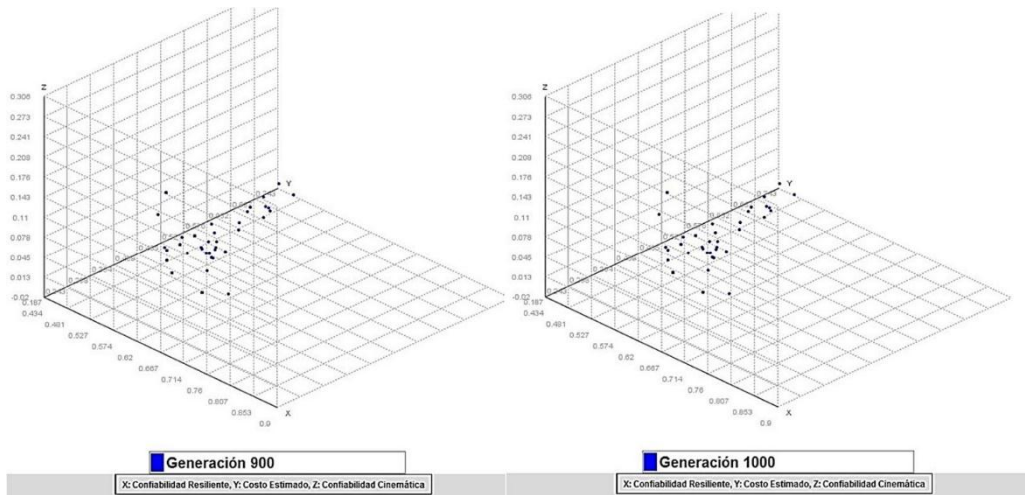


Figura 18: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de las generaciones 100 a 1000 del historial de la malla adaptativa

Por tanto se muestran los resultados factibles para el diseño de la red de Distribución de Agua Potable que el diseñador escogerá por criterio de selección.

DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN 3

Es posible empleando el software MAGMOREDES, el diseño óptimo de tuberías buscando la minimización de 02 objetivos, como son la confiabilidad resiliente y el costo estimado.

Así como el módulo de diseño para 03 objetivos mediante MAGMO del software elaborado, se obtendrán las respuestas objetivo de la malla adaptativa y sus características hidráulicas calculadas de los nodos y tuberías (presión y altura piezométrica en los nodos, velocidades y caudales en las tuberías). Además también se mantendrá un historial de la evolución de las soluciones realizadas por el micro algoritmo genético multiobjetivo.

A continuación se presenta el proceso de diseño con MAGMOREDES en la optimización de 02 objetivos.

3.1. Dibujo de la red y completado de datos

El proceso de dibujo y completado de datos de la red, se realiza de la misma manera como se describió en el cálculo de redes y en el diseño optimizado de redes para 03 objetivos mediante MAGMO.

3.2. Configuración de los parámetros del Diseño de redes por MAGMO

La definición de los parámetros del MAGMO para 02 objetivos son: el número de generaciones, tamaño de memoria de población, porcentaje de memoria no reemplazable, tamaño de la memoria externa, divisiones de malla adaptativa en sus 02 objetivos e intervalo del historial de la malla adaptativa.

Parámetros del MAGMO	
Número de Generaciones	1000
Número de Genes de los Pobladores	7
Tamaño de Memoria de Población	50
Porcentaje de la Memoria No Reemplazable (%)	25
Tamaño de Memoria No Reemplazable	13
Tamaño de Memoria Reemplazable	37
Tamaño de la Memoria Externa	100
División Malla Adaptativa - Objetivo 01	25
División Malla Adaptativa - Objetivo 02	25
Intervalo Malla Adaptativa - Historial	100
% de Mutación	5

Figura 19: Diseño de redes por MAGMO – Parámetros del MAGMO

También se definen los parámetros de las funciones objetivos y restricciones como son:

- Para el objetivo 01 referido a la confiabilidad de la red, la presión mínima de servicio.
- Para el objetivo 02 referido al costo de la red, los coeficientes de la función de costo.
- Para las restricciones, la presión mínima, velocidad mínima y velocidad máxima.

The screenshot shows a software window titled "DISEÑO DE REDES CON 02 OBJETIVOS POR ...". The window has two tabs: "Funciones Objetivos y Restricciones" (selected) and "Universo de Genes". Below the tabs is a section titled "Parámetros del MAGMO".

Objetivo 01: Confiabilidad de la Red
Presión Mínima de Servicio (mca): 10.00

Objetivo 02: Costo de la Red
 Estimar costo de la red del costo por metro lineal de tubería
 Estimar costo de la red mediante los coeficientes de la función costo
Coeficiente A: 0.01
Coeficiente B: 1.6948

Restricciones
Presión Mínima (mca): 10.00
Velocidad Mínima (m/s): 0.6
Velocidad Máxima (m/s): 5.0

Buttons at the bottom: "Calculo: 02 Objetivos" and "Resultados".

Figura 20: Diseño de redes por MAGMO – Parámetros de funciones objetivos y restricciones

Se procede a ingresar el universo de genes (diámetros), del cual el MAGMO seleccionará para generar la población aleatoria. Además, en vez de indicarse los coeficientes de la función de costo de la red, se puede ingresar directamente los costos por metro lineal para cada diámetro.

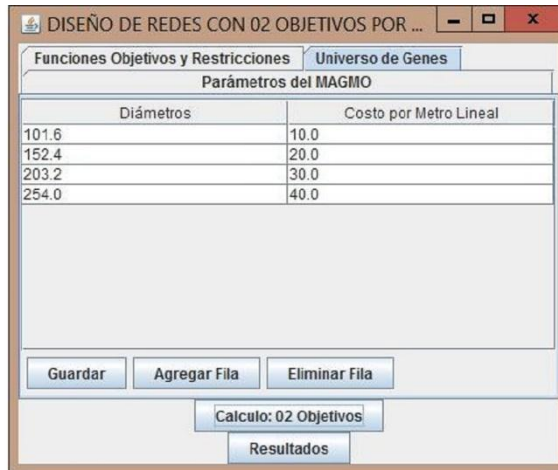


Figura 21: Diseño de redes por MAGMO – Universo de genes

Ingresado todos los parámetros se procede al inicio del proceso de diseño de la red.

3.3. Resultados del diseño de redes por MAGMO

Uno de los resultados que se obtienen son los objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante. Además se muestra su respectiva gráfica.

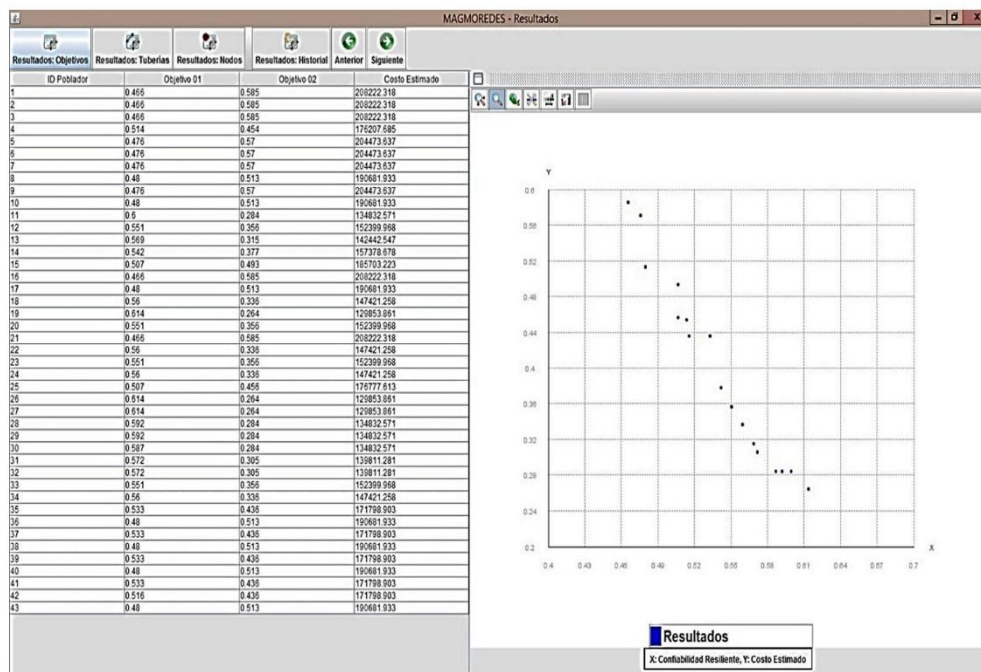


Figura 22: Resultados – Tabla y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

También se tiene como resultado la tabla de tuberías de los pobladores de la malla adaptativa resultante, en la cual se indica su identificación de poblador y tramo de tubería, su diámetro, caudal y velocidad para cada tramo.

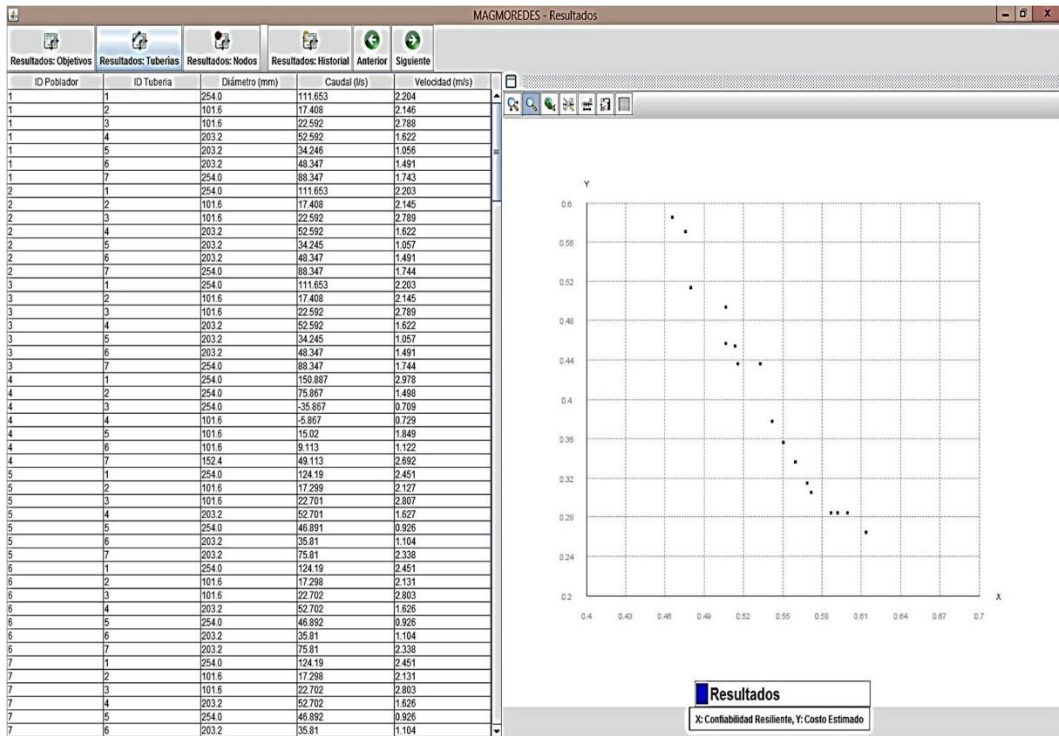


Figura 23: Resultados – Tabla de tuberías y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

También se tiene como resultado la tabla de nodos de los pobladores de la malla adaptativa resultante, en la cual se indica su identificación de poblador y nodo, su altura piezométrica y presión de cada nodo.

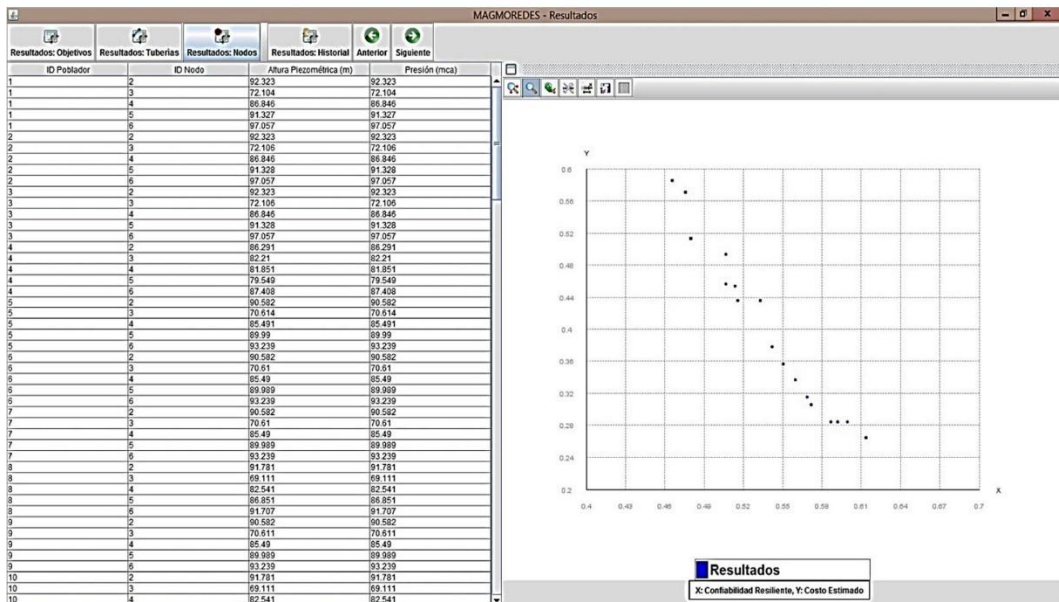


Figura 24: Resultados – Tabla de nodos y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa resultante

Finalmente se tiene como resultado la tabla del historial de evolución de la malla adaptativa a lo largo del proceso. Pudiendo mostrarse las gráficas de cada intervalo guardado en el historial, las gráficas se muestran a continuación.

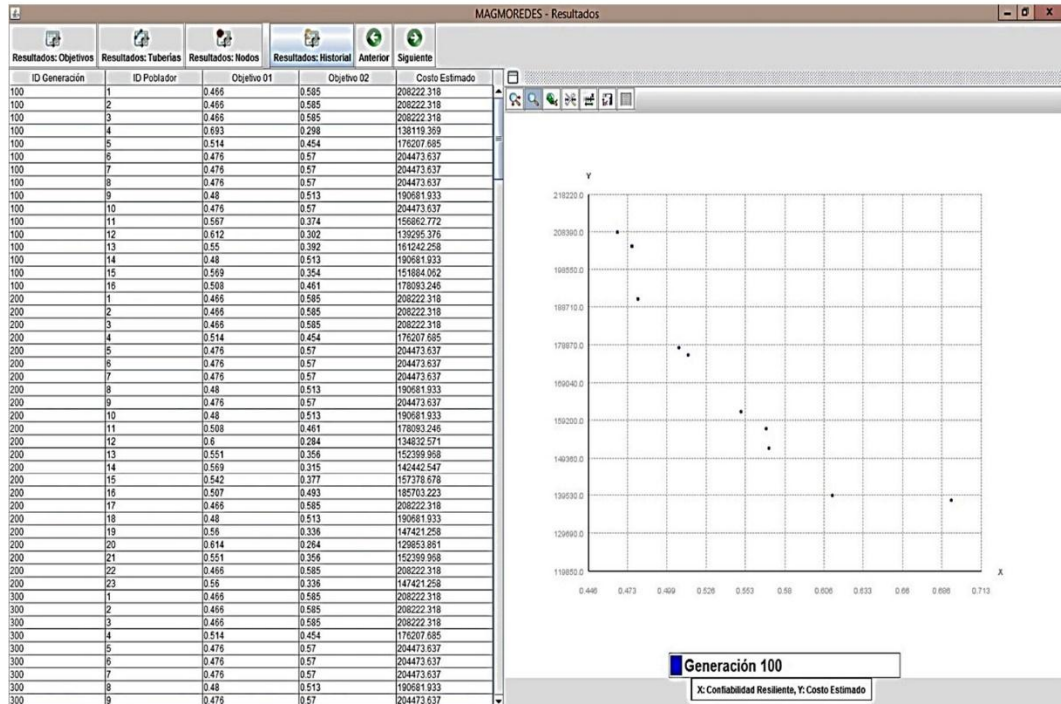
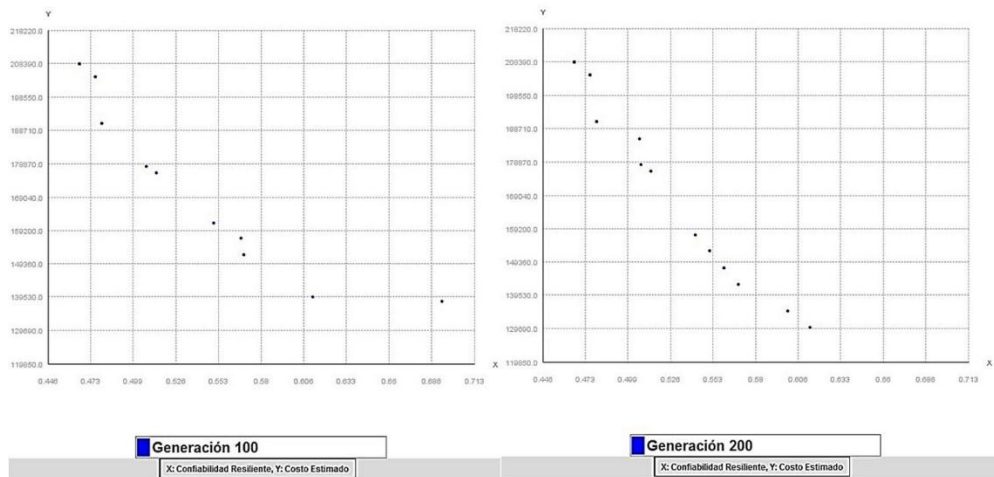
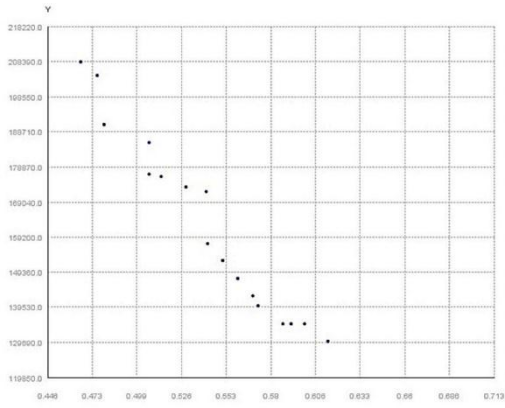
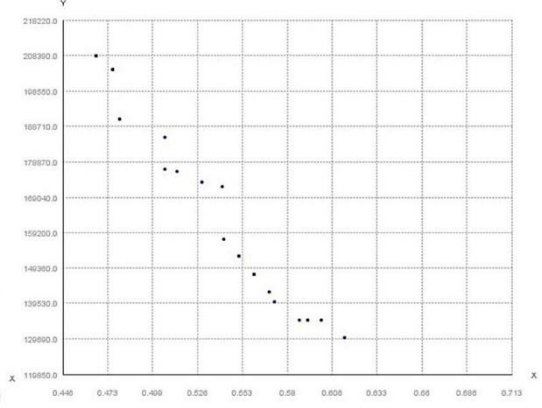


Figura 25: Resultados – Tabla historial de objetivos de los pobladores de la malla adaptativa

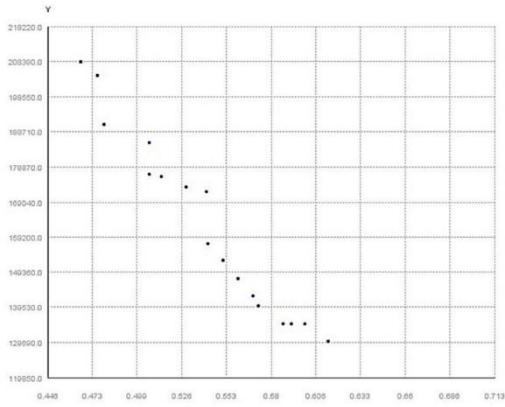




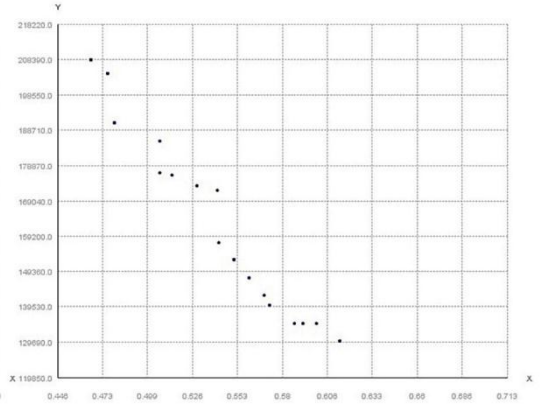
Generación 300
X: Confiabilidad Resiliente, Y: Costo Estimado



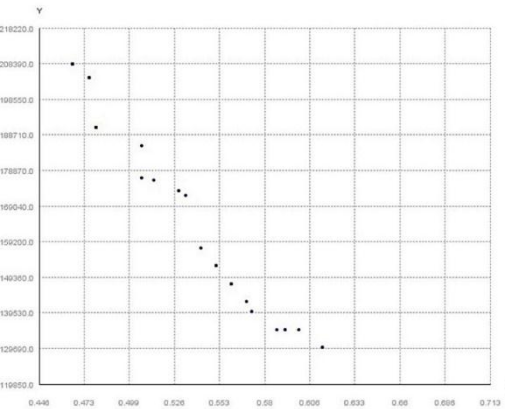
Generación 400
X: Confiabilidad Resiliente, Y: Costo Estimado



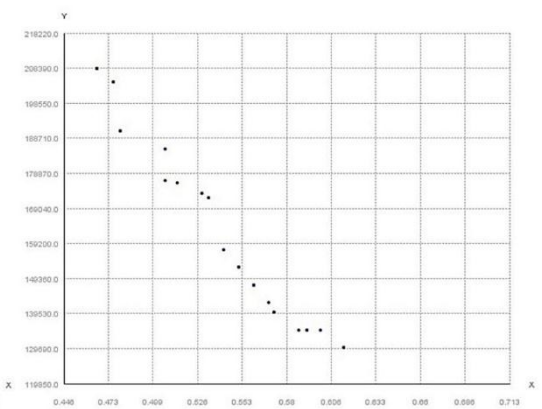
Generación 500
X: Confiabilidad Resiliente, Y: Costo Estimado



Generación 600
X: Confiabilidad Resiliente, Y: Costo Estimado



Generación 700
X: Confiabilidad Resiliente, Y: Costo Estimado



Generación 800
X: Confiabilidad Resiliente, Y: Costo Estimado

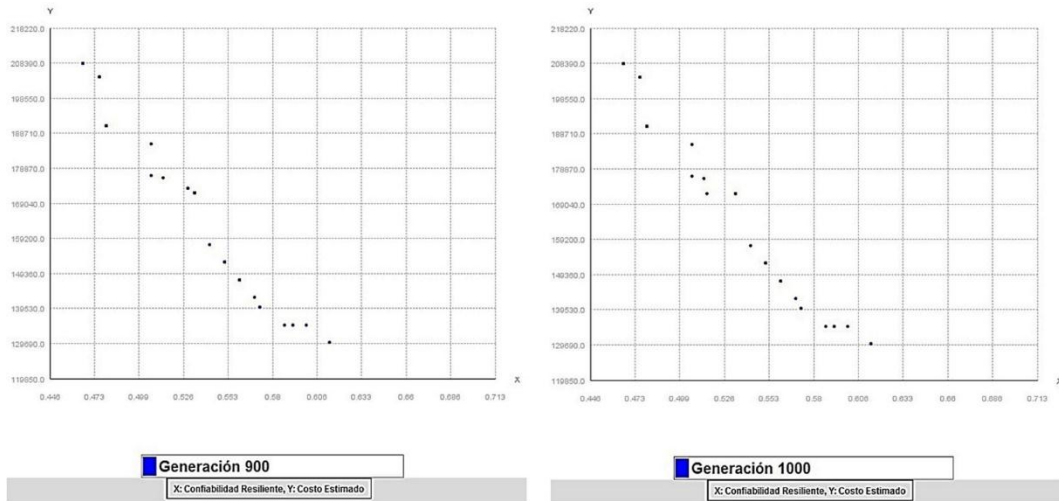


Figura 26: Resultados – Gráfica de objetivos de los pobladores de la de la generación 1000 del historial de la malla adaptativa

Por tanto se muestran los resultados factibles para el diseño de la red de Distribución de Agua Potable que el diseñador escogerá por criterio de selección.

3. CRITERIO DE SELECCIÓN DE UNA ALTERNATIVA PARA EL DISEÑO DE RDAP

Luego del proceso del algoritmo propuesto, se dan un conjunto de respuestas válidas basadas en los tres objetivos propuestos (confiabilidad resiliente, costo de la red y confiabilidad cinemática). La selección de la alternativa dependerá del criterio del diseñador, sin embargo, se recomienda la alternativa que:

- Tenga el valor del coeficiente de confiabilidad resiliente más cercano a 0.50.
- Bajo la anterior condición se seleccionará la alternativa con el menor costo posible.
- Para la evaluación de la confiabilidad cinemática se entenderá que el algoritmo ya ha realizado el proceso de optimización suficiente.

En el siguiente gráfico se muestra el criterio de selección en una gráfica de dos dimensiones:

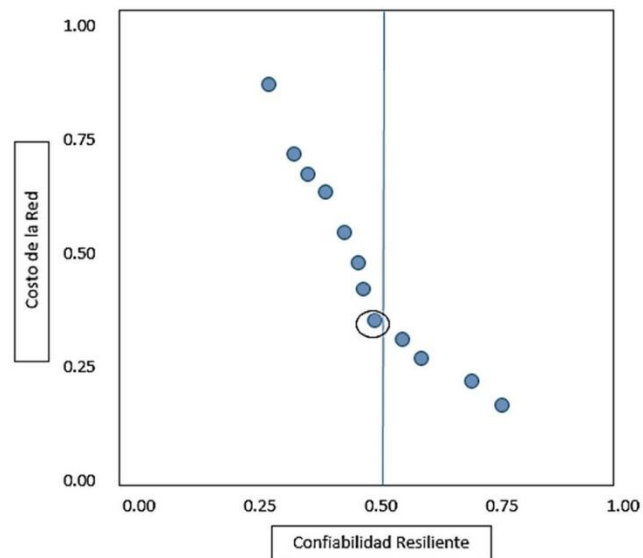


Figura 27: Restricción del Universo de Soluciones Óptimas

XIX SEMINARIO NACIONAL DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

DISEÑO OPTIMIZADO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE INCLUYENDO ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO VERSUS RESILIENCIA DE LA RED

F.L. Mendoza¹, J.G. Saldarriaga²

¹Investigador, Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados –CIACUA–, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia; email: fl.mendoza84@uniandes.edu.co

²Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental - Director, Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados –CIACUA–, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia; email: jsaldarr@uniandes.edu.co.

RESUMEN

En la investigación descrita en este artículo se diseñó y probó una metodología para el diseño de redes de distribución de agua potable, la cual está basada en la comprensión del comportamiento hidráulico y energético de la red y busca encontrar diseños no solo económicos sino también confiables. Uno de los principales parámetros de confiabilidad en una red es el índice de resiliencia.

En todas las redes diseñadas se obtuvo que con respecto a la red de mínimo costo, la confiabilidad aumentó entre un 36% y 57% generando un aumento en los costos de tan solo entre el 6 % y 11%. Los beneficios encontrados oscilaron entre cuatro y siete veces los costos generados.

ABSTRACT

The research project described in this article designed and proved a methodology for the design of water distribution networks, which is based on an understanding of the hydraulic and energy network behavior and seeks to find not only economic but also reliable designs. One of the main parameters of reliability in a network is the resilience index.

The results showed that all networks designed obtained that the reliability increased 36% to 57% generating a low increase in costs (only 6% to 11%). Found benefits varied between four and seven times the costs.

PALABRAS CLAVES

Redes de distribución, Resiliencia, diseño de mínimo costo, confiabilidad.

INTRODUCCIÓN

El diseño de redes de distribución de agua potable (RDAP) es un tema de gran importancia. El suministro de agua potable, servicio que presta una RDAP, es prioritario para el desarrollo y buen funcionamiento de la sociedad. A través del tiempo se han desarrollado e implementado metodologías que buscan optimizar el diseño desde la perspectiva de costo mínimo. Este método de optimización busca encontrar un punto óptimo (donde los costos sean mínimos) en el cual se satisfagan ciertas condiciones de demanda y presión requeridas. En una RDAP cualquier falla puede generar múltiples consecuencias en términos de confiabilidad, generando problemas para satisfacer la demanda y presión requerida. Es por esto que es necesario analizar si el diseño optimizado de redes debe sesgarse únicamente al análisis de costo mínimo o por el contrario debe ser multicriterio, integrando el concepto de resiliencia de la red, teniendo en cuenta la confiabilidad de la RDAP.

Dado que los recursos para la construcción de RDAP son limitados es necesario encontrar diseños óptimos, es decir, económicos pero además, con un grado de confiabilidad aceptable. El problema de optimización económica en el diseño de RDAP, es prácticamente un problema resuelto. Inicialmente se usaron técnicas de optimización tradicionales, como la Programación Lineal y No Lineal, la mayoría de estas técnicas además de requerir un esfuerzo computacional enorme, eran difíciles de implementar presentando numerosas dificultades (e.g. el redondeo de diámetros continuos a discretos en algunas de ellas). Posteriormente, se plantearon meta heurísticas derivadas de la naturaleza y aplicables al diseño de RDAP, entre las más destacadas están, Algoritmos Genéticos, Enjambre de Partículas, Búsqueda de Armonía, entre otras. Cabe resaltar que estas metodologías de diseño necesitan de un motor de cálculo, que verifique la hidráulica de los diseños obtenidos. Sin embargo ninguno de ellos está basado en analizar las características topológicas e hidráulicas de la RDAP para la obtención del diseño óptimo. La única aproximación hidráulica para la solución del problema de diseño de RDAP fue propuesta por I Pai Wu en 1975. Aunque el criterio de Wu se desarrolló para el diseño de la línea principal en sistemas de irrigación (i.e. tuberías en serie), posteriormente, el profesor Ronald Featherstone aplicó el criterio de Wu al diseño de RDAP. Adicionalmente, Okitsugu Fujiwara comprobó que la extensión de tal criterio al diseño de RDAP si fuera posible.

Con base en esas investigaciones, El Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados (CIACUA) desarrolló una metodología la cual calculaba la superficie óptima de presiones (SOP) (Villalba, 2004). Esta metodología probó funcionar bien para redes con una topología uniforme y con una sola fuente de abastecimiento. Finalmente se desarrolló una nueva metodología, la cual se llamó Superficie Óptima de Gradiente Hidráulico (SOGH) (Ochoa, 2009), la cual complementa y mejora SOP. Sin embargo, hallar la RDAP de mínimo costo no garantiza hallar una RDAP con un nivel de resiliencia aceptable (capacidad de superar condiciones de estrés o fallas en la red, superávit de energía en la red). La elección de la RDAP de mínimo costo, no necesariamente genera el correcto diseño de una RDAP confiable, ya que, la función objetivo no incorpora el concepto de confiabilidad adecuadamente, el cual es la principal razón por la cual se diseñan RDAP con circuitos y no en forma de árbol (i.e. redes abiertas) (Todini, 2000). Esta investigación desarrolló una metodología de diseño que incluya el análisis del costo mínimo y el índice de resiliencia (principal parámetro de confiabilidad en una RDAP).

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El diseño de una Red de Distribución de Agua Potable (RDAP) consiste en determinar los diámetros de las tuberías que componen la red. Para ello se necesitan como datos de entrada; 1. Los caudales

demandados en cada nodo, y 2. La presión mínima (la cual se presenta en las horas de máximo consumo, generalmente fijado por una norma local). Sin embargo, este tipo de problema es muy complejo ya que el número de incógnitas a hallar es muy superior al número de ecuaciones disponibles. Se ha demostrado que la solución a este problema con todas sus restricciones incluidas es un problema NP –DURO (Yates, 1984). Cabe resaltar que además de conocer los caudales demandados y la presión mínima en cada nodo, es necesario conocer también la topología de la red (i.e. sus coordenadas X, Y, Z), la conectividad entre los nodos de la red y las características físicas de las tuberías como lo son: la rugosidad absoluta, longitud y coeficiente de pérdidas menores. Además es necesario conocer la línea piezométrica de cada una de las fuentes de abastecimiento (e.g. tanques). (Saldarriaga, 2007). Tradicionalmente los diseños de RDAP se han resuelto mediante ensayo y error, usando la experiencia e intuición del diseñador. Aunque los diseños resultantes son factibles, están muy lejos de ser la solución más económica y mucho menos la más *confiable*. En otras palabras, este método de diseño no cuenta con ningún criterio de optimización.

El problema de diseño óptimo multicriterio de una RDAP se define de la siguiente manera: Conociendo el trazado de la RDAP (i.e. su topología y su conectividad), además de las demandas de caudales en cada nodo, encontrar la combinación de diámetros que minimice el costo constructivo del sistema pero que al mismo tiempo alcance niveles de confiabilidad aceptables.

Matemáticamente, la función objetivo puede expresarse como:

$$\text{Función Objetivo } Z = \begin{cases} \text{Minimizar } C \\ \text{Maximizar } R \end{cases} \quad [1]$$

donde C es el costo constructivo de una RDAP y R es la confiabilidad de la red, cuyo parámetro principal es el índice de resiliencia I_R .

Función de Costos

El costo constructivo incluye el valor comercial de las tuberías más su costo de instalación. La función de costos generalmente se puede expresar mediante una relación potencial del diámetro así:

$$C = \sum_{i=1}^{NT} k \cdot L_i \cdot D_i^x \quad [2]$$

donde NT es el número de tuberías que conforman la RDAP, L_i y D_i son la longitud y el diámetro del i -ésimo tubo de la red, k y x son parámetros que se determina por regresión teniendo en cuenta los costos de determinado material en función del costo.

Confiabilidad en una RDAP

A continuación se describirán algunas de los parámetros de confiabilidad que se usarán en este estudio.

- *Índice de Resiliencia (I_R)*

Este índice fue propuesto por el Ingeniero Ezio Todini. Básicamente este índice calcula la relación que existe entre la potencia por unidad de peso de operación del sistema y la potencia por unidad de peso máxima que el sistema puede tener. En otras palabras calcula el superávit de potencia por unidad de peso existente en la red. A continuación se explicará la deducción del índice de resiliencia I_R . En una RDAP la potencia total disponible (P_{tot}) puede expresarse como:

$$P_{tot} = \sum_{i=1}^{n_e} Q_i H_i \quad [3]$$

donde n_e es el número de embalses, Q_i y H_i son el caudal y la altura piezométrica de entrada respectivamente. También existe la siguiente relación:

$$P_{tot} = P_{dis} + P_{sal} \quad [4]$$

donde P_{dis} es la potencia disipada en las tuberías y P_{sal} es a potencia entregada a los usuarios en cada uno de los nodos.

La potencia entregada a los usuarios en cada uno de los nodos (P_{sal}), puede ser la *ideal* (P_{sal}^*) o la *real* (P_{sal}).

$$P_{sal}^* = \sum_{j=1}^{m_u} Q_j H_j^* \quad [5]$$

donde m_u es el número de uniones (i.e. nodos), Q_j es el caudal demandado en cada nodo y H_j^* es la presión mínima requerida en cada nodo. Se define el índice de resiliencia (I_R) como:

$$I_R = 1 - \frac{P_{dis}}{P_{dis}^*} \quad [6]$$

teniendo en cuenta que:

$$\begin{aligned} P_{dis} &= P_{tot} - P_{sal} = P_{tot} - \sum_{j=1}^{m_u} Q_j H_j \\ P_{dis}^* &= P_{tot} - P_{sal}^* = P_{tot} - \sum_{j=1}^{m_u} Q_j H_j^* \end{aligned} \quad [7]$$

En la ecuación 8 se puede notar que básicamente la diferencia entre P_{dis} y P_{dis}^* es que en la primera se usan las presiones *reales* y en la segunda las presiones *ideales* o mínimas. Finalmente el I_R se puede describir como (Todini, 2000):

$$I_R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n_e} Q_i H_i - \sum_{j=1}^{m_u} Q_j H_j}{\sum_{i=1}^{n_e} Q_i H_i - \sum_{j=1}^{m_u} Q_j H_j^*} = \frac{\sum_{j=1}^{m_u} Q_j (H_j - H_j^*)}{\sum_{i=1}^{n_e} Q_i H_i - \sum_{j=1}^{m_u} Q_j H_j^*} \quad [8]$$

- *Coefficiente de Conectividad en la RDAP (C_j)*

Las redes de distribución de agua potable con circuitos son más confiables y más prácticas si los diámetros de las tuberías conectadas a un nodo no varían ampliamente (Prasad, 2004). Si D_1 , D_2 y D_3 (donde $D_1 \geq D_2 \geq D_3$) son los diámetros de tres tuberías conectadas a un nodo j , el coeficiente de conectividad que expresa la uniformidad en cuanto las conexiones en ese nodo, está dado por la siguiente ecuación (Prasad, 2004):

$$C_j = \frac{(D_1 + D_2 + D_3)}{3D_1} \quad [9]$$

en forma generalizada,

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^{NT_j} D_i}{NT_j \cdot \max\{D_i\}} \quad [10]$$

donde NT_j es el número de tuberías conectadas al nodo j . El valor de C_j es igual a uno ($C_j = 1$) cuando las tuberías conectadas a un nodo tienen el mismo diámetro, o si tan solo una tubería se conecta al nodo. El valor de C_j será menor que uno ($C_j < 1$) si las tuberías conectadas a un nodo presentan diámetros diferentes. El objetivo entonces es propender por valores de C_j iguales o cercanos a uno. Esto con el fin de evitar conexiones poco prácticas (e.g. una tubería de 10 pulgadas conectada a una de 2 pulgadas). Con base en el coeficiente de conectividad (Ecuación 2-10), el índice de resiliencia puede reescribirse de la siguiente forma (Prasad, 2004):

$$I_R'' = \frac{\sum_{j=1}^{nu} C_j Q_j (H_j - H_j^*)}{\sum_{e=1}^{ne} Q_e H_e - \sum_{j=1}^{nu} Q_j H_j^*} \quad [11]$$

- *Potencia Unitaria (PUT_i)*

La potencia unitaria de cierta tubería i se define como el caudal que fluye por la tubería i multiplicado por la diferencia entre la altura piezométrica de los nodos inicial y final. Los iniciales y finales dependen de la dirección del flujo (Saldarriaga, 2010). Corresponde a una potencia por unidad de peso.

$$P_{UM} = qi(h_{i,mi} - h_{i,jn}) \quad [12]$$

- *Superávit Mínimo de Energía (I_m)*

El superávit de energía en un nodo es igual a la diferencia entre la altura piezométrica actual y la altura piezométrica mínima requerida. Este superávit indica la energía disponible a ser disipada bajo un ambiente de fallas. Maximizar el superávit de energía disponible en los nodos más deprimidos mejorará la confiabilidad de la RDAP. El índice de superávit mínimo de energía se define como (Prasad, 2004):

$$I_m = \min \{H_j - H_j^*\} \quad j=1, 2, \dots, nu \quad [13]$$

Este índice se usó como indicador de los beneficios obtenidos en la investigación realizada por Walski y Gessler en 1999.

- *Superávit Total de Energía (I_t)*

Otro índice que puede ser usado para medir la confiabilidad de la RDAP es la suma de los superávits de energía en todos los nodos de la red. El superávit total de energía se puede expresar como:

$$I_t = \sum_{j=1}^{nu} (H_j - H_j^*) \quad [14]$$

METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE RDAP

La metodología de diseño que se usó para el diseño de RDAP es una aproximación heurística y recursiva. Esta nueva metodología usó el programa REDES (CIACUA, 2008), dado que este programa cuenta con numerosas funciones y procedimientos que facilitaron probarla en diferentes RDAP teóricas. Además se usó Microsoft Excel como hoja de cálculo acompañada de rutinas elaboradas en Visual Basic, con el fin de validar los resultados obtenidos con el programa REDES.

Las etapas que conforman la metodología propuesta se describen a continuación. Cabe resaltar que como se describió en el Capítulo 2, es necesario contar con los siguientes parámetros de diseño: trazado de la RDAP, presión mínima, función de costos, diámetros comerciales disponibles, ecuación de resistencia fluida (e.g. Darcy-Weisbach). En la Figura 1 se presenta la metodología propuesta.

1. Hallar la red de mínimo costo usando la metodología superficie optima de gradiente hidráulico, SOGH (Ochoa, 2009). A la red hallada calcularle el índice de resiliencia y el costo.
2. Seleccionar el nodo con menor coeficiente de conectividad. Si existen varios nodos con el mismo índice mínimo de conectividad, se seleccionaran todos los que tengan el mínimo índice de conectividad.
3. Calcular la potencia unitaria de cada una de las tuberías conectadas al nodo (o nodos) seleccionado en la etapa 2-
4. Calcular el costo que tendría cambiar cada una de las tuberías conectadas al nodo seleccionado en la Etapa 2, al aumentarles su diámetro al siguiente diámetro comercial.
5. Calcular la relación entre la potencia unitaria (Etapa 3) y el costo por aumento de diámetro (Etapa 4) para cada una de las tuberías conectadas al nodo seleccionado en la Etapa 2.
6. Seleccionar la tubería con la mayor relación encontrada en la Etapa 5 (i.e. mayor relación $P_{uti} / Costo$).
7. Aumentar el diámetro de la tubería seleccionada en la etapa 6 al siguiente diámetro comercial.
8. Correr la hidráulica de la red, calcular el nuevo costo y el nuevo índice de resiliencia.
9. Calcular el porcentaje de aumento del índice de resiliencia con respecto a la iteración anterior.
10. Calcular el porcentaje de aumento del costo de la red con respecto a la iteración anterior.
11. Calcular la relación entre el porcentaje de aumento de la resiliencia (Etapa 9) y el porcentaje de aumento del costo (Etapa 10), es decir la relación beneficio –costo. Si la relación beneficio – costo calculada en esta etapa es mayor que 2 (i.e. los beneficios marginales son iguales o mayores al doble que los costos marginales) regresar a la Etapa 2 para iniciar una nueva iteración, sino el proceso finaliza. si la relación costo-beneficio es menor que dos no se justifica continuar con el proceso, ya que por un aumento de confiabilidad dado (i.e. beneficios) los costos aumentan demasiado.
12. Calcular todos los parámetros de confiabilidad propuestos y verificar el desempeño del proceso.

RESULTADOS

La metodología propuesta se aplicó a tres RDAP las cuales son: red de dos circuitos, red de Apulian y red R28. Además fue necesario crear un modelo hidráulico en el programa REDES de cada una de las redes probadas.

Red de dos Circuitos

La red de dos circuitos (Figura 2) se usó por primera vez en 1977 por Alperovits y Shamir. Está conformada por ocho tubos, dos circuitos, seis nodos de demandas y un embalse con una altura piezométrica favorable de 210 m que alimenta la red por gravedad. La red resultante después de aplicar la metodología se comparó con la red de mínimo costo reportada en la literatura. En la Tabla 1 en las columnas 2 y 3 se presenta cómo el índice de resiliencia (indicador principal de confiabilidad en la red) cambio a la vez que lo hacían los costos después de cada iteración. En las columnas 4 y 5 se presenta el porcentaje de aumento del índice de resiliencia y de los costos en relación con la iteración anterior. Finalmente en las columnas 6 y 7 se presenta la relación beneficio – costo con respecto a la iteración anterior y si esta es mayor o igual a dos (i.e. los beneficios son iguales o mayores al doble de los costos). En la última fila se presenta la iteración en la cual el proceso se detuvo (la ultima iteración no hace parte de la solución) y en la primera fila los datos de la red de mínimo costo. Como se puede observar, después de la séptima iteración la relación beneficio – costo es menor que dos; seguir realizando el proceso no tendría ningún sentido ya que para un aumento de confiabilidad obtenido el costo se incrementa notablemente.

En la Figura 3 se puede observar como en la iteración 8 los beneficios netos marginales (zona sombreada) son muy bajos, razón por la cual el proceso iterativo finaliza. Así mismo, en la Figura 4 se puede observar como en las primeras iteraciones del proceso un aumento del I_R no involucraba aumentos grandes en el costo (por esto las pendientes son más bajas al inicio). Por el contrario en las ultimas iteraciones, un leve aumento del I_R generaba aumentos considerables en el costo.

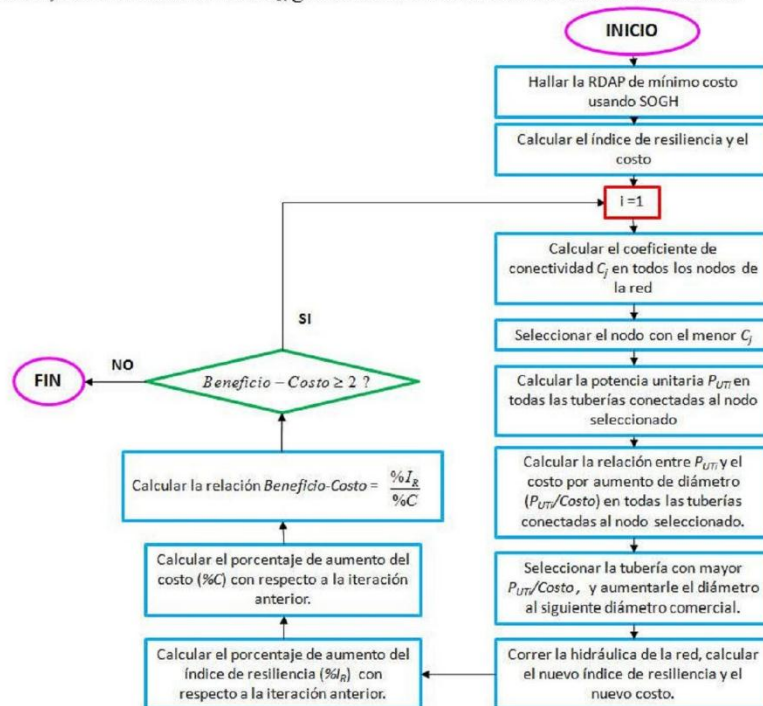


Figura 1.- Metodología propuesta para el diseño de RDAP incluyendo análisis de costo mínimo versus resiliencia de la red.

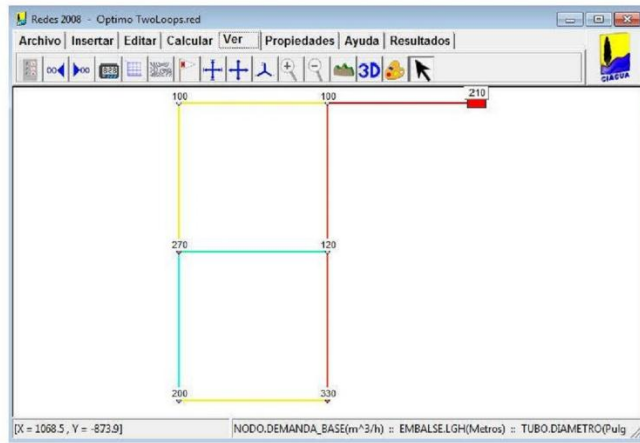


Figura 2.- Red de dos circuitos.

Tabla 1.- Resultados obtenidos para la red de dos circuitos.

Iteración	I_R	Costo	% Aumento I_R	% Aumento Costo	Beneficio-costo I_R /Costo	I_R /Costo > 2
Red mínimo costo	0,210	419000	--	--	--	--
1	0,26	424000	23,81	1,19	19,95	SI
2	0,278	427000	6,92	0,71	9,78	SI
3	0,289	430000	3,96	0,70	5,63	SI
4	0,298	433000	3,11	0,70	4,46	SI
5	0,306	438000	2,68	1,15	2,32	SI
6	0,317	445000	3,59	1,60	2,25	SI
7	0,33	454000	4,10	2,02	2,03	SI
8	0,338	462000	2,42	1,76	1,38	NO



Figura 3.- Porcentaje de aumento del costo y del I_R para cada iteración.

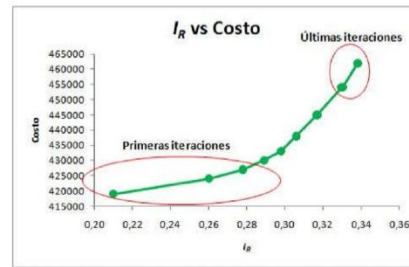


Figura 4.- Comportamiento del costo y el I_R en las primeras y últimas iteraciones.

Al finalizar el proceso iterativo (séptima iteración) se pudo observar que el índice de resiliencia aumentó de 0.21 a 0.33, es decir en un 57.14 % y el costo aumentó de 419000 a 454000 es decir en un 8.35%. La relación Beneficio – Costo total fue de 6.84. Se evaluó también el coeficiente de conectividad promedio de la red. Se obtuvo que el coeficiente de conectividad de la red de mínimo costo fuera de 0.738 (con un valor mínimo de 0.50, es decir, el nodo con menor coeficiente de conectividad fue de 0.5), mientras que después de aplicar la metodología el coeficiente de conectividad promedio fue de 0.86 (con un valor mínimo de 0.80). Se evaluó el superávit mínimo de energía I_m . Se obtuvo que en la red de mínimo costo fue de 0.45 metros columna de agua (mca), después de aplicar la metodología fue de 1.181 mca, es decir se obtuvo un aumento de 0.731 mca en el nodo mas deprimido de la red. Del mismo modo se evaluó el superávit total de energía I_t . Se obtuvo que para la red de mínimo costo fue de 41.96 mca, después de aplicar la metodología fue de 57.81 mca, es decir se obtuvo un aumento de 15.85 mca. Finalmente en la Tabla 2 se presentan los resultados de todos los parámetros propuestos, obteniéndose en todos ellos un aumento significativo, lo que involucra que la red obtenida presente una alta confiabilidad.

Tabla 2.- Resultados obtenidos para los parámetros evaluados. Red de dos circuitos.

Parámetro	Red mínimo costo	Después de aplicar la metodología	% Aumento
I_R	0,21	0,33	57,1
C_j promedio	0,738	0,86	16,5
C_j mínimo	0,5	0,8	60,0
I_m (m.c.a)	0,45	1,181	162,4
I_t (m.c.a)	41,96	57,81	37,8

Finalmente se presentan las superficies de presiones antes y después de aplicar la metodología. Aunque no se observa un cambio fuerte se puede observar que después de aplicar la metodología se obtuvo una superficie un poco más uniforme tal como se muestra en la Figura 5.

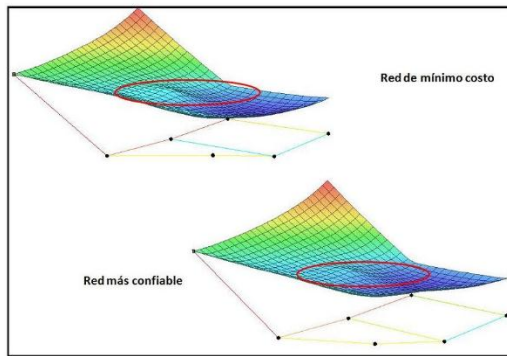


Figura 5.- Superficie óptima de presiones en la red de mínimo costo y después de aplicar la metodología.

Red de Apulian

La red de Apulian (Figura 6) se ha usado recientemente por Giustolisi y Laucelli en 2009. Su nombre se debe a la localidad ubicada en el sur de Italia. Está conformada por 34 tubos, 11 circuitos, 23 nodos de demandas y una altura piezométrica favorable de 36.4 m que alimenta la red por gravedad. Se pueden observar la demanda base en cada nodo y la línea de gradiente hidráulico en el embalse alimentador.

La red resultante después de aplicar la metodología se comparó con la red de mínimo costo. En la Tabla 3 en las columnas 2 y 3 se presenta cómo el índice de resiliencia (indicador principal de confiabilidad en la red) cambió a la vez que lo hacían los costos después de cada iteración. En las columnas 4 y 5 se presenta el porcentaje de aumento del índice de resiliencia y de los costos en relación con la iteración anterior. Finalmente en las columnas 6 y 7 se presenta la relación beneficio – costo con respecto a la iteración anterior y si esta es mayor o igual a 2 (i.e. los beneficios son iguales o mayores al doble de los costos). En la última fila se presenta la iteración en la cual el proceso se detuvo (la ultima iteración no hace parte de la solución) y en la primera fila los datos de la red de mínimo costo.

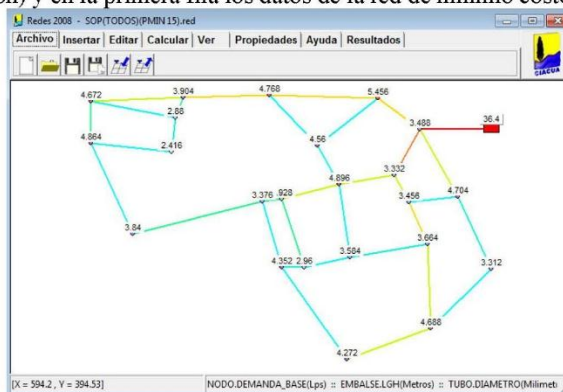


Figura 6.- Modelo hidráulico de la red de Apulian en el programa REDES.

Iteración	I_R	Costo	% Aumento I_R	% Aumento Costo	Beneficio-costo I_R/Costo	$I_R/\text{Costo} > 2$
Red mínimo costo	0,437	265082,96	--	--	--	--
1	0,480	268689,28	9,84	1,36	7,23	SI
2	0,542	273287,35	12,92	1,71	7,55	SI
3	0,565	275053,00	4,24	0,65	6,57	SI
4	0,574	277117,46	1,59	0,75	2,12	SI
5	0,597	282280,76	4,01	1,86	2,15	SI
6	0,617	288591,76	3,35	2,24	1,50	NO

Tabla 3.- Resultados obtenidos para la red de Apulian.

Como se puede observar, después de la quinta iteración la relación beneficio – costo es menor que dos. Seguir realizando el proceso no tendría ningún sentido ya que para un aumento de confiabilidad obtenido el costo se incrementa notablemente. En la Figura 7 se puede observar como en la iteración 6 los beneficios netos marginales (zona sombreada en gris) son muy bajos, razón por la cual el proceso iterativo finaliza. Así mismo, en la Figura 8 se puede observar como en las primeras iteraciones del proceso un aumento del I_R no involucraba aumentos grandes en el costo (pendientes bajas al inicio), por el contrario en las últimas iteraciones, un leve aumento del I_R generaba aumentos considerables en el costo.

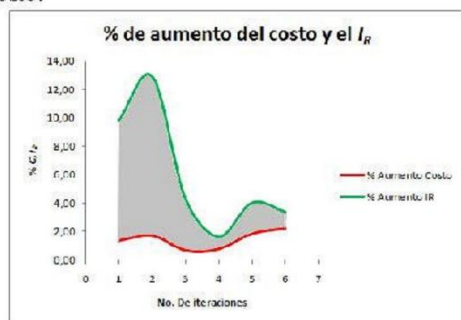


Figura 7.- Porcentaje de aumento del costo y del I_R para cada iteración.

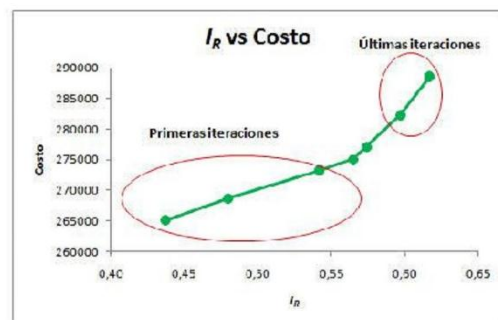


Figura 8.- Comportamiento del costo y el I_R en las primeras y últimas iteraciones.

Al finalizar el proceso iterativo (quinta iteración) se pudo observar que el índice de resiliencia aumentó de 0.437 a 0.597, es decir en un 36.61 % y el costo aumentó de 265082.96 a 282280.76 es decir en un 6.49%. La relación Beneficio – Costo total fue de 5.64. Se evaluó también el coeficiente de conectividad promedio de la red. Se obtuvo que el coeficiente de conectividad de la red de mínimo costo fuera de 0.75 (con un valor mínimo de 0.67), mientras que después de aplicar la metodología el coeficiente de conectividad promedio fue de 0.78 (con un valor mínimo de 0.71). Se evaluó el superávit mínimo de energía I_m . Se obtuvo que en la red de mínimo costo fue de 0.24 mca después de aplicar la metodología fue de 1.09 mca, es decir se obtuvo un aumento de 0.85 mca en el nodo mas deprimido de la red. Del mismo modo se evaluó el superávit total de energía I_t . Se obtuvo que para la red de mínimo costo fue de 122.94 mca, después de aplicar la metodología fue de 158.63 mca, es decir se obtuvo un aumento de 35.69 mca. Finalmente en la Tabla 4 se presentan los resultados de todos los parámetros propuestos, obteniéndose que en la mayoría de ellos se produjo un aumento significativo, lo que involucra que la red obtenida presente una alta confiabilidad.

Tabla 4.- Resultados obtenidos para los parámetros evaluados. Red de Apulian.

Parámetro	Red mínimo costo	Después de aplicar la metodología	% Aumento
I_R	0,437	0,597	36,6
C_j promedio	0,75	0,78	4,0
C_j mínimo	0,67	0,71	6,0
I_m (m.c.a)	0,24	1,09	354,2
I_t (m.c.a)	122,94	158,63	29,0

Finalmente se presentan las superficies de presiones antes y después de aplicar la metodología. Se observa un cambio significativo en el nodo más deprimido de la red, ya que después de aplicar la metodología se obtuvo un superávit de energía en ese punto (Ver Figura 9).

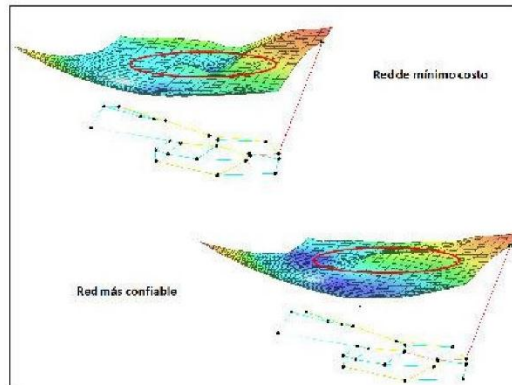


Figura 9.- Superficie óptima de presiones en la red de mínimo costo y después de aplicar la metodología.

Red R28

La red R28 es una red RDAP propuesta por el Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados CIACUA. Su nombre se debe a que presenta 28 circuitos. Fue usada recientemente por Saldarriaga en 2010. Está constituida por 67 tuberías, 39 nodos y un embalse con 100 metros de altura piezométrica que alimenta la red por gravedad. En la Figura 10 se presenta una vista en planta de la red. Se pueden observar la demanda base en cada nodo y la línea de gradiente hidráulico en el embalse alimentador.

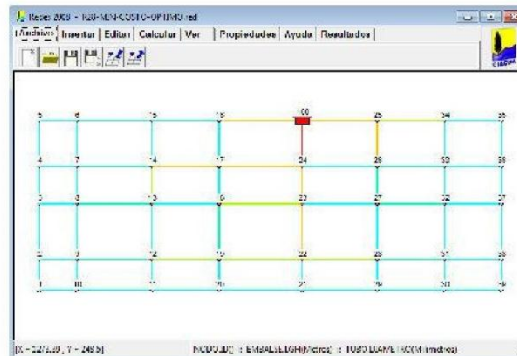


Figura 10.- Modelo hidráulico de la red R28 en el programa REDES.

La red resultante después de aplicar la metodología se comparó con la red de mínimo costo. En la Tabla 5 en las columnas 2 y 3 se presenta cómo el índice de resiliencia (indicador principal de confiabilidad en la red) cambió a la vez que lo hacían los costos después de cada iteración. En las columnas 4 y 5 se presenta el porcentaje de aumento del índice de resiliencia y de los costos en relación con la iteración anterior. Finalmente en las columnas 6 y 7 se presenta la relación beneficio – costo con respecto a la iteración anterior y si esta es mayor o igual a dos (i.e. los beneficios son iguales o mayores al doble de los costos). En la última fila se presenta la iteración en la cual el proceso se detuvo (la última iteración no hace parte de la solución) y en la primera fila los datos de la red de mínimo costo.

Iteración	I_R	Costo	% Aumento I_R	% Aumento Costo	Beneficio-costo I_R/Costo	$I_R/\text{Costo} > 2$
Red mínimo costo	0,376	84506,15	--	--	--	--
1	0,406	84934,05	7,98	0,51	15,76	SI
2	0,434	85704,26	6,90	0,91	7,61	SI
3	0,449	86711,81	3,46	1,18	2,94	SI
4	0,467	87482,03	4,01	0,89	4,51	SI
5	0,478	88031,38	2,36	0,63	3,75	SI
6	0,491	89038,94	2,72	1,14	2,38	SI
7	0,504	89588,29	2,65	0,62	4,29	SI
8	0,514	90444,09	1,98	0,96	2,08	SI
9	0,519	90993,44	0,97	0,61	1,60	NO

Tabla 5.- Resultados obtenidos para la red R28.

Como se puede observar, después de la octava iteración la relación beneficio – costo es menor que 2. Seguir realizando el proceso no tendría ningún sentido ya que para un aumento de confiabilidad obtenido el costo se incrementa notablemente. En la Figura 11 se puede observar como en la iteración 9 los beneficios netos marginales (zona sombreada en gris) son muy bajos, razón por la cual el proceso iterativo finaliza. Así mismo, en la Figura 12 se puede observar como en las primeras iteraciones del proceso un aumento del I_R no involucraba aumentos grandes en el costo (pendientes más bajas al inicio), por el contrario en las últimas iteraciones, un leve aumento del I_R generaba aumentos considerables en el costo.

Al finalizar el proceso iterativo (octava iteración) se pudo observar que el índice de resiliencia aumentó de 0.376 a 0.514, es decir en un 36.70 % y el costo aumentó de 84506.15 a 90444.09 es decir en un 7.03 %. La relación Beneficio – Costo total fue de 5.22. Se evaluó también el coeficiente de conectividad promedio de la red. Se obtuvo que el coeficiente de conectividad de la red de mínimo costo fuera de 0.82 (con un valor mínimo de 0.58, es decir, el nodo con menor coeficiente de conectividad fue de 0.58), mientras que después de aplicar la metodología el coeficiente de conectividad promedio fue de 0.83 (con un valor mínimo de 0.63). Se evaluó el superávit mínimo de energía I_m .

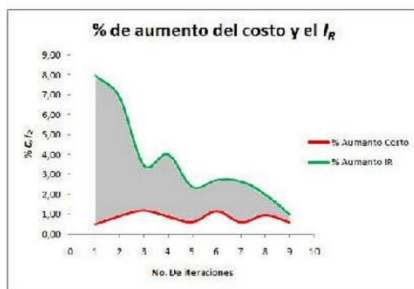


Figura 11.- Porcentaje de aumento del costo y del I_R para cada iteración.



Figura 12.- Comportamiento del costo y el I_R en las primeras y últimas iteraciones.

Se obtuvo que en la red de mínimo costo fue de 0.4 mca, después de aplicar la metodología fue de 19.31 mca, es decir se obtuvo un aumento de 18.91 mca en el nodo mas deprimido de la red. Del mismo modo se evaluó el superávit total de energía I_t . Se obtuvo que para la red de mínimo costo fue de 996.5 mca, después de aplicar la metodología fue de 1510.7 mca, es decir se obtuvo un aumento de 514.16 mca. Finalmente en la Tabla 6 se presentan los resultados de todos los parámetros propuestos, obteniéndose en la mayoría de ellos un aumento significativo, lo que involucra que la red obtenida presente una alta confiabilidad.

Tabla 6.- Resultados obtenidos para los parámetros evaluados. Red R28.

Parámetro	Red mínimo costo	Después de aplicar la metodología	% Aumento
I_R	0,376	0,514	36,7
C_j promedio	0,82	0,83	1,2
C_j mínimo	0,58	0,63	8,6
I_m (m.c.a)	0,4	19,31	4727,5
I_t (m.c.a)	996,5	1510,7	51,6

Finalmente se presentan las superficies de presiones antes y después de aplicar la metodología. Se observa un cambio significativo en el superávit total de energía, el cual se evidencia en ciertas zonas de la superficie (Ver Figura 13).

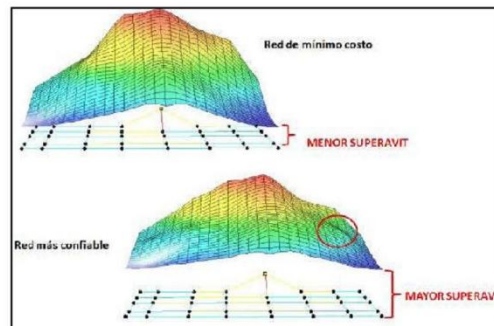


Figura 13.- Superficie óptima de presiones en la red de mínimo costo y después de aplicar la metodología.

CONCLUSIONES

En esta investigación se desarrolló y se probó con éxito una metodología de diseño de redes de distribución de agua potable (RDAP) que complementa el trabajo realizado en investigaciones anteriores por diferentes centros de investigación internacionales y el Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados de la Universidad de Los Andes.

La metodología propuesta mejora los resultados de las investigaciones anteriores porque obtiene diseños no solo económicos sino también confiables. Toda la metodología se basa en la comprensión del comportamiento hidráulico y energético de la RDAP.

El problema de optimización económica en el diseño de RDAP, es prácticamente un problema resuelto. Para encontrar la RDAP de mínimo costo existen numerosas heurísticas que no están basadas en la comprensión de las características hidráulicas y topológicas propias de una RDAP (e.g. algoritmos genéticos, búsqueda de la armonía) y metodologías que sí están basadas en la comprensión de las características hidráulicas de la red (e.g. SOGH).

El trazado de una RDAP en forma de circuitos, se realiza principalmente debido a criterios de confiabilidad. Este tipo de trazados permite redundancia en las RDAP, generando diferentes caminos para que el suministro de agua llegue a un punto (nodo). La redundancia generada por el trazado de la red en forma de circuitos permite generar RDAP más confiables. Sin embargo, en el caso de presentarse una falla en la red, además de la redundancia en la RDAP, se requiere la disponibilidad de energía suficiente (i.e. presión) para que el suministro llegue a los nodos afectados.

Encontrar el diseño de una RDAP de mínimo costo, no garantiza encontrar un nivel de confiabilidad deseable. En la mayoría de los casos, las RDAP de mínimo costo presentan índices de resiliencia muy bajos (i.e. confiabilidad baja), es decir, no cuentan con un superávit de energía suficiente que garantice el suministro en caso de presentarse una falla.

Es necesario diseñar RDAP de mínimo costo, ya que los recursos económicos son limitados. Sin embargo, se debe garantizar un nivel de confiabilidad aceptable, de lo contrario no tendría ningún sentido trazar las RDAP en forma de circuitos.

En un RDAP se debe procurar porque su conectividad sea práctica, es decir, que las tuberías conectadas a un nodo no varíen ampliamente en diámetro (e.g. un tubo de dos pulgadas conectado a uno de diez pulgadas sería una conexión poco práctica). Los diseños de mínimo costo generalmente presentan conectividades poco prácticas. La metodología desarrollada fue aplicada a tres RDAP ampliamente usadas en la literatura: Red de dos circuitos (Two Loops), Red de Apulian y Red R28. En todas estas redes se encontraron diseños económicos y confiables.

Los resultados obtenidos muestran que en todas las RDAP se logró aumentar la confiabilidad entre un 36% y 57% (en comparación con la red de mínimo costo) generando un aumento en los costos de tan solo entre el 6 % y 11%. Los beneficios encontrados oscilaron entre cuatro y siete veces los costos generados. Esto prueba que la metodología presentó un buen desempeño.

REFERENCIAS

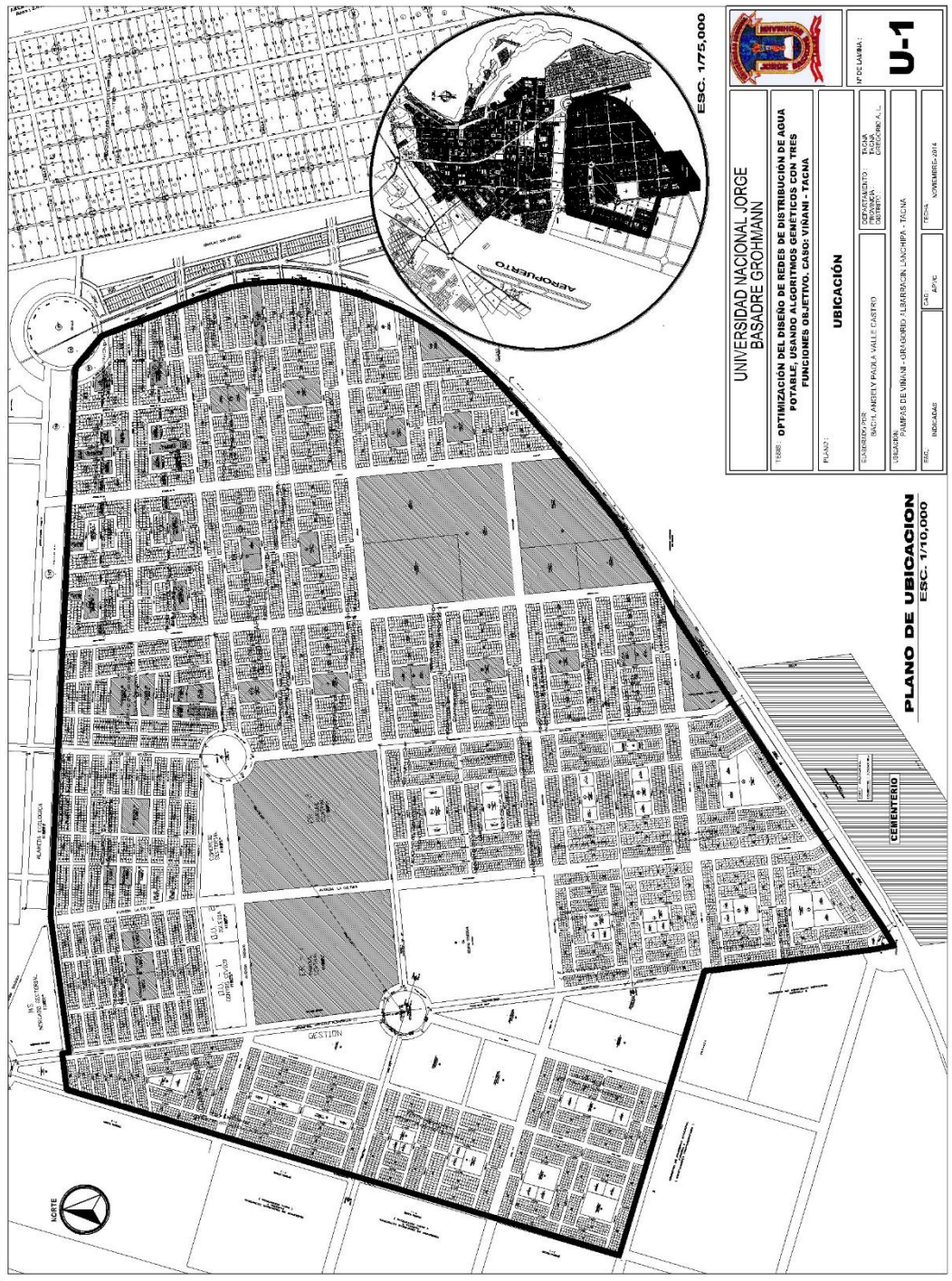
Alperovits, E., & Shamir, U. (1977). "Design of Optimal Water Distribution Systems". *Water Resources Research*, 885-900.

- Bhave, P., & Sonak, V. (1992). A Critical study of the linear programming gradient method for optimal design of water supply networks. *Water Resources Research* , 1577-1584.
- CIACUA, U. d. (2007). *REDES 2007*, Manual del Usuario. Bogotá.
- Dandy, G., Simpson, A., & Murphy, L. (1996). An improved genetic algorithm for pipe network optimization. *Water Resources Research* , 449-458.
- Fujiwara, O., & Khang, D. (1990). A two-phase decomposition method for optimal design of looped water distribution networks. *Water Resources Research* , 539-549.
- Geem, Z. (2006). Optimal cost design of water distribution networks using harmony search. *Engineering Optimization* , 259-277.
- Geem, Z. (2009). Particle-swarm harmony search for water network design. *Engineering Optimization* , 297-311.
- Geem, Z., Kim, J., & Loganathan, G. (2002). Harmony search optimization: application to pipe network design. *International Journal of Modelling and Design* , 125-133.
- Gupta, I., Bassin, J., Gupta, A., & Khama, P. (1993). Optimization of water distribution system. *Environmental Modelling and Software* , 101-113.
- Kadu, S., Gupta, R., & Bhave, P. (2008). Optimal design of water networks using a modified genetic algorithm with reduction in search space. *Journal of water Resources Planning and Management* , 147-160.
- Kessler, A., & Shamir, U. (1989). Analysis of the linear programming gradient method for optimal design of water supply networks. *Water Resources Research* , 1469-1480.
- Ochoa, S. (2009). "Diseño optimizado de acueductos mediante la superficie óptima de gradiente hidráulico." Bogotá: Universidad de los Andes.
- Quindry, G., Brill, E., & Liebman, J. (1981). Optimization of looped water distribution systems. *Journal of the Environmental Engineering Division* , 665-679.
- Reca, J., & Martinez, J. (2006). Genetic algorithms for the design of looped irrigation water distribution networks . *Water Resources Research* , W05416.
- Saldarriaga, J. (2007). *Hidráulica de Tuberías. Abastecimiento de Agua, Redes, Riegos*. Bogotá: Alfaomega.
- Saldarriaga, J. (2010). Prioritized rehabilitation of water distribution networks using dissipated power concept to reduce non-revenue water. *Urban Water Journal*, 1-20.
- Savic, D., & Walters, G. (1997). Genetic algorithms for least cost design of water distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management* , 67-77.
- Todini, E. (2000). Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach. *Urban Water* , 115-122.
- Varma, K., Narashiman, S., & Bhallamudi, S. (1997). Optimal design of water distribution systems using an NLP method. *Journal of Environmental Engineering* , 381-388.
- Walters, G., Halhal, D., Savic, D., & Ouazar, D. (1999). Improved design of 'Anytown' distribution network using structured messy genetic algorithms. *Urban water* , 23-38.
- Wu, I. (1975). Design of drip irrigation main lines. *Journal of the Irrigation and Drainage Division* , 265-278.


ANEXO 11:

PLANOS:

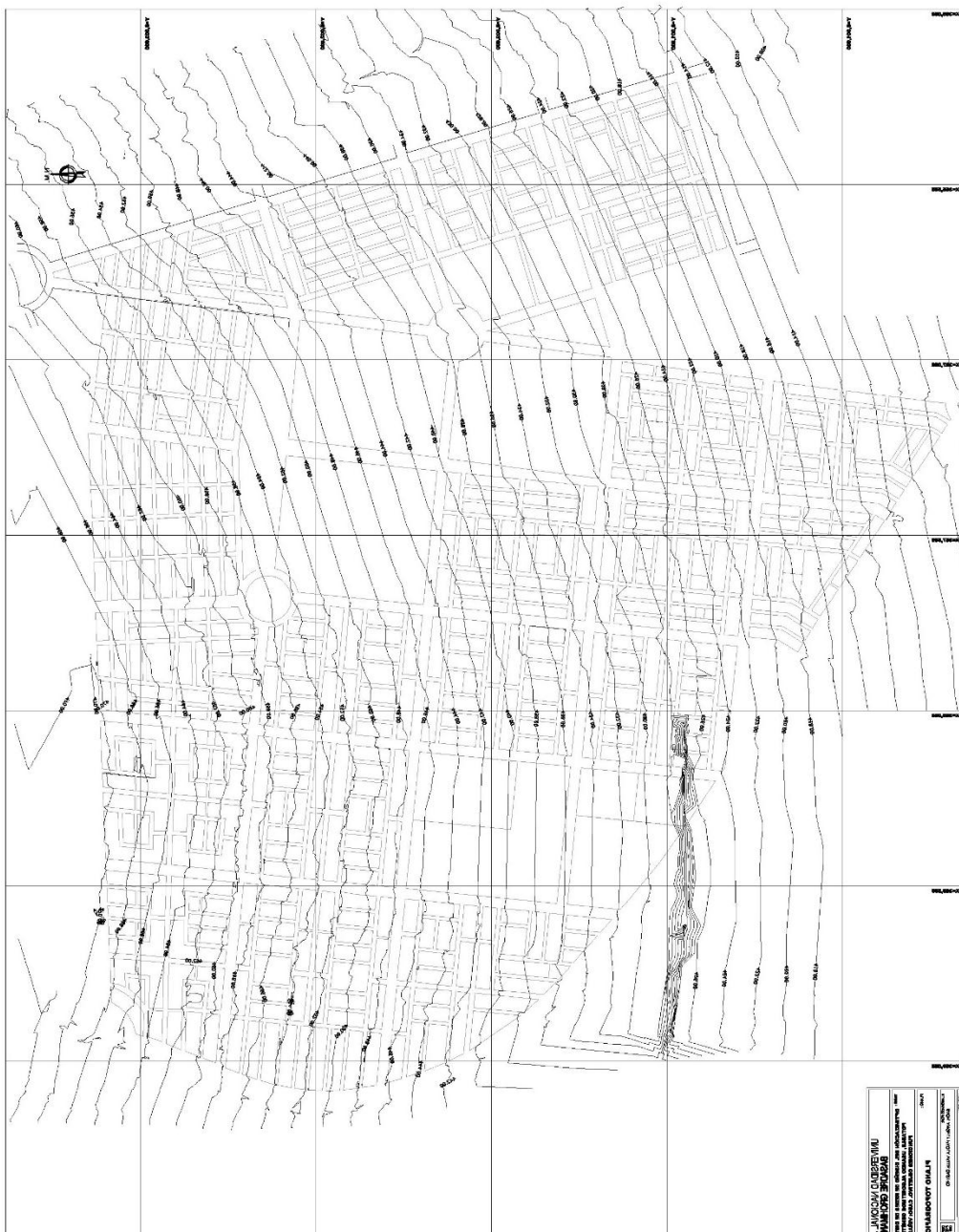
- PLANO DE UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO.
- PLANO TOPOGRÁFICO DE LA ZONA EN ESTUDIO.
- PLANO DE RESULTADOS DE LA RED ACTUAL DEL SECTOR VIÑANI Y PROPUESTAS DE DISEÑO CON MAGMO.



ESC. 1/75,000

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN</p>	
<p>TÍTULO: OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE, USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS CON TRES FUNCIONES OBJETIVO. CASO: VINAMI - TAGUA</p>	
<p>PLANO:</p>	
<p>UBICACIÓN</p>	
<p>DESARROLLADO POR: DANIEL ANSELMO PARRA SALLE CASTRO</p>	<p>DEPARTAMENTO: TAGUA INSTITUTO: ESCUELA NACIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>
<p>UBICACIÓN: PUNTA DE VINAMI - OROGURO - IBERROSA, LANGUYA - TAGUA</p>	<p>FECHA: NOVIEMBRE 2014</p>
<p>ESC.: 1/10,000</p>	<p>CAD.: A3/C</p>

PLANO DE UBICACION
ESC. 1/10,000



SPRINGFIELD CENTER VILLAGE
SPRINGFIELD CENTER VILLAGE
SPRINGFIELD CENTER VILLAGE

SPRINGFIELD CENTER VILLAGE
 1000 STATE STREET
 SPRINGFIELD, VERMONT 05156
 TEL: (802) 885-1234
 FAX: (802) 885-1234

CONSOLIDATED CHARTER

APPROVED BY THE BOARD OF SELECTMEN
 ON 10/15/2014

DATE: 10/15/2014

BY: [Signature]

1000 STATE STREET
 SPRINGFIELD, VERMONT 05156
 TEL: (802) 885-1234
 FAX: (802) 885-1234

U-T

RESULTADOS DIÁMETRO, CAUDAL Y VELOCIDAD EN LAS TUBERÍAS PARA LA RED ACTUAL Y PROPUESTAS CON EL MAGMO

CARACTERÍSTICAS DE LA RED				RED ACTUAL			RED PROPUESTA CONSIDERANDO TRES OBJETIVOS			RED PROPUESTA CONSIDERANDO DOS OBJETIVOS						
ID	Etiqueta	Longitud [m]	Nodo inicial	Nodo final	Material	C. Rugosidad (mm)	Memoria Geométrica (m³/s)	Diámetro [mm]	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Diámetro [mm]	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Diámetro [mm]	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]
151	185.58	1	3	PVC	0.005	1.0450	202	180.04	1.99	0.10	202	180.04	1.07	202	185.96	1.92
152	426.62	2	3	PVC	0.005	1.0450	202	120.69	1.49	0.21	202	120.69	0.92	202	120.69	0.92
153	308.48	3	4	PVC	0.005	1.0450	202	78	1.45	0.22	202	78	1.45	202	78	1.45
154	487.48	4	5	PVC	0.005	1.0450	202	41.23	0.90	0.22	202	41.23	0.90	202	41.23	0.90
155	585.58	5	6	PVC	0.005	1.0450	202	21.21	0.21	0.18	202	21.21	0.21	202	21.21	0.21
156	38.64	6	7	PVC	0.005	1.0450	202	21.21	0.21	0.18	202	21.21	0.21	202	21.21	0.21
157	208.21	7	8	PVC	0.005	1.0450	202	13.73	1.52	0.35	202	13.73	1.52	202	13.73	1.52
158	114.24	8	9	PVC	0.005	1.0450	202	22.23	1.98	0.28	202	22.23	1.98	202	22.23	1.98
159	534.18	9	10	PVC	0.005	1.0450	202	1.58	0.54	0.44	202	1.58	0.54	202	1.58	0.54
160	370.21	11	12	PVC	0.005	1.0450	202	10.00	1.57	0.4	202	10.00	1.57	202	10.00	1.57
161	11.81	12	13	PVC	0.005	1.0450	184	41.24	1.98	0.18	184	41.24	1.98	184	41.24	1.98
162	24.51	13	14	PVC	0.005	1.0450	202	4.61	0.58	0.18	202	4.61	0.58	202	4.61	0.58
163	214.24	14	15	PVC	0.005	1.0450	184	30.87	1.97	0.2	184	30.87	1.97	184	30.87	1.97
164	45.24	15	16	PVC	0.005	1.0450	202	7.59	0.97	0.28	202	7.59	0.97	202	7.59	0.97
165	187.18	16	17	PVC	0.005	1.0450	202	1.81	0.46	0.2	202	1.81	0.46	202	1.81	0.46
166	428.81	17	18	PVC	0.005	1.0450	202	8.84	1.63	0.28	202	8.84	1.63	202	8.84	1.63
167	24.5	18	19	PVC	0.005	1.0450	184	4.53	0.51	0.18	184	4.53	0.51	184	4.53	0.51
168	28.28	19	20	PVC	0.005	1.0450	184	4.71	1.56	0.2	184	4.71	1.56	184	4.71	1.56
169	132.28	20	21	PVC	0.005	1.0450	184	28.86	1.98	0.2	184	28.86	1.98	184	28.86	1.98
170	24.53	21	22	PVC	0.005	1.0450	202	1.50	0.46	0.2	202	1.50	0.46	202	1.50	0.46
171	182.68	22	23	PVC	0.005	1.0450	202	5.78	0.78	0.2	202	5.78	0.78	202	5.78	0.78
172	180.17	23	24	PVC	0.005	1.0450	202	8.46	1.89	0.31	202	8.46	1.89	202	8.46	1.89
173	212	24	25	PVC	0.005	1.0450	202	8.11	0.89	0.2	202	8.11	0.89	202	8.11	0.89
174	182.74	25	26	PVC	0.005	1.0450	202	5.74	0.45	0.2	202	5.74	0.45	202	5.74	0.45
175	27.21	26	27	PVC	0.005	1.0450	202	1.72	0.22	0.18	202	1.72	0.22	202	1.72	0.22
176	25.4	27	28	PVC	0.005	1.0450	184	31.47	1.52	0.18	184	31.47	1.52	184	31.47	1.52
177	21.24	28	29	PVC	0.005	1.0450	184	10.74	1.91	0.18	184	10.74	1.91	184	10.74	1.91
178	414.28	29	30	PVC	0.005	1.0450	184	28.78	1.69	0.2	184	28.78	1.69	184	28.78	1.69
179	183.21	30	31	PVC	0.005	1.0450	202	6.88	0.68	0.2	202	6.88	0.68	202	6.88	0.68
180	487.18	31	32	PVC	0.005	1.0450	202	2.75	0.50	0.2	202	2.75	0.50	202	2.75	0.50
181	27.21	32	33	PVC	0.005	1.0450	184	30.61	1.71	0.18	184	30.61	1.71	184	30.61	1.71
182	418.74	33	34	PVC	0.005	1.0450	202	7.98	0.98	0.28	202	7.98	0.98	202	7.98	0.98
183	25.27	34	35	PVC	0.005	1.0450	184	22.43	1.29	0.18	184	22.43	1.29	184	22.43	1.29
184	417.14	35	36	PVC	0.005	1.0450	202	3.96	0.73	0.2	202	3.96	0.73	202	3.96	0.73
185	187.02	36	37	PVC	0.005	1.0450	202	5.02	0.72	0.2	202	5.02	0.72	202	5.02	0.72
186	374.02	37	38	PVC	0.005	1.0450	202	11.46	1.87	0.2	202	11.46	1.87	202	11.46	1.87
187	417	38	39	PVC	0.005	1.0450	202	4.24	0.52	0.24	202	4.24	0.52	202	4.24	0.52
188	317.0	39	40	PVC	0.005	1.0450	202	11.09	1.48	0.2	202	11.09	1.48	202	11.09	1.48
189	483.28	40	41	PVC	0.005	1.0450	202	31.17	1.27	0.2	202	31.17	1.27	202	31.17	1.27
190	344.75	41	42	PVC	0.005	1.0450	202	0.60	0.71	0.3	202	0.60	0.71	202	0.60	0.71
191	334.02	42	43	PVC	0.005	1.0450	184	0.28	0.17	0.18	184	0.28	0.17	184	0.28	0.17
192	417.02	43	44	PVC	0.005	1.0450	202	9.45	1.18	0.2	202	9.45	1.18	202	9.45	1.18
193	24.38	44	45	PVC	0.005	1.0450	184	10.04	0.98	0.18	184	10.04	0.98	184	10.04	0.98
194	417.02	45	46	PVC	0.005	1.0450	202	11.04	1.88	0.2	202	11.04	1.88	202	11.04	1.88
195	187.04	46	47	PVC	0.005	1.0450	202	8.18	1.05	0.28	202	8.18	1.05	202	8.18	1.05
196	417.04	47	48	PVC	0.005	1.0450	202	1.09	0.17	0.18	202	1.09	0.17	202	1.09	0.17
197	188.12	48	49	PVC	0.005	1.0450	202	7.17	0.78	0.2	202	7.17	0.78	202	7.17	0.78
198	188.02	49	50	PVC	0.005	1.0450	184	8.11	0.15	0.18	184	8.11	0.15	184	8.11	0.15
199	28.78	50	51	PVC	0.005	1.0450	184	3.68	0.15	0.18	184	3.68	0.15	184	3.68	0.15
200	37.48	51	52	PVC	0.005	1.0450	202	8.18	1.05	0.28	202	8.18	1.05	202	8.18	1.05
201	488.89	52	53	PVC	0.005	1.0450	202	11.28	1.71	0.2	202	11.28	1.71	202	11.28	1.71
202	21.21	53	54	PVC	0.005	1.0450	202	20.81	1.07	0.18	202	20.81	1.07	202	20.81	1.07
203	21.21	54	55	PVC	0.005	1.0450	184	20.81	1.28	0.18	184	20.81	1.28	184	20.81	1.28
204	189.21	55	56	PVC	0.005	1.0450	202	11.21	1.47	0.2	202	11.21	1.47	202	11.21	1.47
205	184.18	56	57	PVC	0.005	1.0450	202	11.21	1.47	0.2	202	11.21	1.47	202	11.21	1.47
206	188.56	57	58	PVC	0.005	1.0450	184	10.69	0.17	0.18	184	10.69	0.17	184	10.69	0.17
207	117.18	58	59	PVC	0.005	1.0450	202	10.98	1.33	0.2	202	10.98	1.33	202	10.98	1.33
208	384.4	59	60	PVC	0.005	1.0450	202	12.18	1.85	0.2	202	12.18	1.85	202	12.18	1.85
209	188.28	60	61	PVC	0.005	1.0450	184	10.17	1.21	0.2	184	10.17	1.21	184	10.17	1.21
210	188.02	61	62	PVC	0.005	1.0450	202	14.44	1.44	0.2	202	14.44	1.44	202	14.44	1.44
211	24	62	63	PVC	0.005	1.0450	202	10.41	0.20	0.18	202	10.41	0.20	202	10.41	0.20
212	218.28	63	64	PVC	0.005	1.0450	202	11.78	0.88	0.2	202	11.78	0.88	202	11.78	0.88
213	183.04	64	65	PVC	0.005	1.0450	202	1.82	0.15	0.18	202	1.82	0.15	202	1.82	0.15
214	183.04	65	66	PVC	0.005	1.0450	202	0.67	0.20	0.2	202	0.67	0.20	202	0.67	0.20
215	183.04	66	67	PVC	0.005	1.0450	202	1.44	0.44	0.2	202	1.44	0.44	202	1.44	0.44
216	188.68	67	68	PVC	0.005	1.0450	202	2.09	0.21	0.2	202	2.09	0.21	202	2.09	0.21
217	24.1	68	69	PVC	0.005	1.0450	202	11.2	2.98	0.2	202	11.2	2.98	202	11.2	2.98
218	488	69	70	PVC	0.005	1.0450	202	10.49	0.72	0.2	202	10.49	0.72	202	10.49	0.72
219	180.21	70	71	PVC	0.005	1.0450	202	1.31	0.12	0.18	202	1.31	0.12	202	1.31	0.12
220	180.21	71	72	PVC	0.005	1.0450	202	4.84	2.98	0.2	202	4.84	2.98	202	4.84	2.98
221	483	72	73	PVC	0.005	1.0450	202	10.75	1.07	0.2	202	10.75	1.07	202	10.75	1.07
222	24	73	74	PVC	0.005	1.0450	184	6.18	0.59	0.2	184	6.18	0.59	184	6.18	0.59
223	483	74	75	PVC	0.005	1.0450	202	1.82	0.47	0.2	202	1.82	0.47	202	1.82	0.47
224	24	75	76	PVC	0.005	1.0450	202	3.02	0.78	0.2	202	3.02	0.78	202	3.02	0.78
225	188.21	76	77	PVC	0.005	1.0450	202	1.81	0.78	0.2	202	1.81	0.78	202	1.81	0.78
226	188.21	77	78	PVC	0.005	1.0450	202	11.47	1.42	0.2	202	11.47	1.42	202	11.47	1.42
227	188.21	78	79	PVC	0.005	1.0450	202	9.24	1.12	0.2	202	9.24	1.12	202	9.24	1.12
228	188.21	79	80	PVC	0.005	1.0450	202	11.88	0.53	0.2	202	11.88	0.53	202	11.88	0.53
229	188.21	80	81	PVC	0.005	1.0450	202	9.88	1.12	0.2	202	9.88	1.12	202	9.88	1.12