

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
CIVIL**



**TESIS**

**Optimización Metaheurística de la Red de Agua Potable Mediante  
Algoritmos Genéticos**

PRESENTADO POR:

**Bach. Werner Russbel PALOMINO ESPÍÑAL**

ASESOR:

**Mg. Ing. Edmundo CANCHARI GUTIERREZ**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**AYACUCHO-PERÚ**

**2017**

# Dedicatoria

*El presente trabajo de la tesis va dedicado a mis progenitores, esto por el apoyo permanente, solidario, incondicional y los sabios consejos que me brindan.*

# Agradecimientos

*Agradezco el apoyo solidario e incondicional de mis padres y familiares durante la elaboración del presente trabajo.*

*Al Maestro. CANCHARI GUTIÉRREZ, Edmundo. Un buen amigo y asesor de la presente tesis.*

*A los amigos que facilitaron información y conocimientos sobre el tema para el desarrollo del presente trabajo.*

*Por ultimo a la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, alma mater y fuente de conocimiento para nuestra querida ciudad de Ayacucho.*

## Resumen.

El objeto de investigación es el diseño óptimo (Económico-Técnico) del sistema de red de abastecimiento de agua potable empleando conceptos del modelo Metaheurístico sobre un modelo de cálculo hidráulico. Para ello, se formula una técnica de diseño óptimo con los principios del "ALGORITMO GENETICO" y usando el "GRADIENTE HIDRAULICO" para el cálculo de la red, para después elaborar una rutina en el lenguaje de programación del "MATLAB", esto se evaluará en un problema ejemplo conocido en este campo como la red de "ASPEROVITS Y SHAMIR" sirviéndonos para validar el modelo y evaluar su eficacia. Se pondrá a prueba con el problema de caso real de la red de "MOLLEPATA", ubicado en la ciudad de Ayacucho.

**Palabras Clave:** Diseño óptimo, Red de abastecimiento de Agua potable, Algoritmo genético, Gradiente Hidráulico.

## Abstract.

The investigation object is the optimal design (Economic-Technical) of the supply network drinking water using the concepts of the Metaheuristic model on a hydraulic calculation model. For this, an optimal design technique is formulated the "GENETIC ALGORITHM" and using the "HYDRAULIC GRADIENT" to calculate the network, to later elaborate a routine in the "MATLAB" programming language, this will be evaluated in an example problem known in this field as the "ASPEROVITS AND SHAMIR" network, serving us to validate the model and evaluate its effectiveness. It will be tested with the real case problem of the "MOLLEPATA" network, located in the city of Ayacucho.

**Keywords:** Optimal design, supply networks drinking water, Genetic Algorithms, Hydraulic Gradient.

# Índice general

Portada

Presentación I

Dedicatoria II

Agradecimientos III

Resumen IV

Índice General v

Índice de Cuadros x

Índice de Figuras XII

1. Generalidades 1

1.1. Antecedentes . . . . . 1

1.2. Planteamiento del Problema . . . . . 2

1.2.1. Problema Principal: . . . . . 2

1.2.2. Problemas Secundarios:	2
1.3. Justificación e Importancia	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Generales	3
1.4.2. Específicos	4
1.5. Hipótesis	4
1.5.1. Hipótesis Global	4
1.5.2. Sub-Hipótesis	4
1.6. Limitaciones	4
1.7. Organización del Estudio	5
<b>2. Marco teórico y marco conceptual.</b>	<b>6</b>
2.1. Parte Introduciría.	6
2.1.1. Captación:	6
2.1.2. Líneas de conducción:	7
2.1.3. Almacenamiento de agua bruta:	7
2.1.4. Tratamiento:	8
2.1.5. Almacenamiento de agua tratada:	9
2.1.6. Red de distribución:	10
2.2. Hidráulica de tuberías.	11
2.2.1. Ecuación de Bernoulli.	12
2.2.2. Flujo laminar y turbulento.	14

2.2.3.	Número de Reynolds. . . . .	15
2.2.4.	Ecuaciones empíricas para determinar las perdidas por fricción en tuberías. . . . .	15
2.2.5.	Método del Gradiente. . . . .	18
2.3.	Optimización en ingeniería. . . . .	22
2.3.1.	Función Objetivo. . . . .	23
2.3.2.	Variables. . . . .	23
2.3.3.	Restricciones. . . . .	23
2.4.	Inteligencia artificial(IA). . . . .	24
2.4.1.	Ramas que componen la inteligencia artificial. . . . .	24
2.5.	Algoritmos genéticos. . . . .	25
2.5.1.	Métodos de optimización heurísticos. . . . .	25
2.5.2.	Métodos de optimización metaheurística. . . . .	25
2.5.3.	Proceso estocástico . . . . .	25
2.5.4.	Definición de los algoritmos genéticos. . . . .	25
2.5.5.	Relevancia de los algoritmos genéticos. . . . .	26
2.6.	Operadores genéticos. . . . .	26
2.6.1.	Codificación de las variables. . . . .	27
2.6.2.	Generación de la población inicial. . . . .	28
2.6.3.	Selección. . . . .	28
2.6.4.	Reproducción o cruce. . . . .	31
2.6.5.	Mutación. . . . .	33

<b>3. Materiales y métodos</b>	<b>34</b>
3.1. Tipo y diseño de la Investigación. . . . .	34
3.2. Población y Muestra. . . . .	35
3.2.1. Población. . . . .	35
3.2.2. Muestra. . . . .	35
3.3. Materiales. . . . .	37
3.4. Procedimiento. . . . .	37
<b>4. Formulación del problema</b>	<b>38</b>
4.1. Formulación matemática del problema. . . . .	38
4.2. Diagrama de flujo. . . . .	43
<b>5. Procedimiento de Cálculo del Problema Teórico</b>	<b>44</b>
5.0.1. Datos del Problema Red de ASPEROVITS Y SHAMIR. . . . .	44
5.0.2. Generación de la Población Inicial. . . . .	46
5.0.3. Evaluación de la Población Inicial. . . . .	50
5.0.4. Selección. . . . .	52
5.0.5. Codificación Binaria. . . . .	52
5.0.6. Cruce. . . . .	54
5.0.7. Mutación. . . . .	55
5.0.8. Calculo Hidráulico. . . . .	56
5.0.9. Penalización de Individuos. . . . .	56
5.0.10. Proceso de Iteración. . . . .	57
5.0.11. Reporte calculo hidráulico del mejor individuo. . . . .	58



<b>6. Resultados Red Mollepata</b>	<b>59</b>
6.1. Problema de Aplicación Real, Red Mollepata. . . . .	59
6.1.1. Generación y evaluación de la Población inicial. . . . .	61
6.1.2. Proceso de Iteración. . . . .	63
6.1.3. Reporte calculo hidráulico del mejor individuo. . . . .	64
<b>7. Comparación de Resultados del Problema de Aplicación Teorico.</b>	<b>65</b>
<b>8. Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>67</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>69</b>
<b>A. Datos De Las Tuberías Mollepata</b>	<b>72</b>
<b>B. Datos De Los Nudos Mollepata</b>	<b>78</b>
<b>C. DATOS Y RESULTADOS DEL MEJOR INDIVIDUO</b>	<b>84</b>
C.1. DATOS FORMATO EPANET . . . . .	84
C.2. RESULTADOS FORMATO EPANET . . . . .	100
<b>D. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON ECUACIONES DE PERDIDA DIFERENTE</b>	<b>117</b>
<b>E. CÓDIGO MATLAB</b>	<b>119</b>

# Índice de cuadros

2.1. Coeficientes de fricción "C" en la fórmula de Hazen y Williams . . . . .	16
5.1. Datos del problema. . . . .	44
5.2. Datos De Las Tuberías. . . . .	45
5.3. Datos De Los Nudos . . . . .	45
5.4. Datos de los Tubos Comerciales. . . . .	46
5.5. Resumen de resultados población inicial. . . . .	50
5.6. Mejor Individuo de la población inicial. . . . .	52
5.7. Datos de los Tubos Comerciales. . . . .	53
5.8. Mejor Individuo de la población inicial. . . . .	56
5.9. Resumen de resultados de las Iteraciones. . . . .	57
5.10. Resultados del calculo hidráulico. . . . .	58
6.1. Datos del problema Red Mollepata. . . . .	59
6.2. Datos De Las Tuberías Comerciales. . . . .	60
6.3. Datos de las Válvulas. . . . .	60
6.4. Resumen de resultados población inicial. . . . .	61

6.5. Resumen de resultados mejor individuo. . . . .	63
7.1. Cuadro comparativo de diseños obtenidos por diferentes autores. . . . .	66
A.1. Datos De Las Tuberías. . . . .	72
A.2. Datos De Las Tuberías. . . . .	73
A.3. Datos De Las Tuberías. . . . .	74
A.4. Datos De Las Tuberías. . . . .	75
A.5. Datos De Las Tuberías. . . . .	76
A.6. Datos De Las Tuberías. . . . .	77
B.1. Datos De Los Nudos. . . . .	78
B.2. Datos De Los Nudos. . . . .	79
B.3. Datos De Los Nudos. . . . .	80
B.4. Datos De Los Nudos. . . . .	81
B.5. Datos De Los Nudos. . . . .	82
B.6. Datos De Los Nudos. . . . .	83

# Índice de figuras

2.1. Formas de Captar Agua. . . . .	7
2.2. Presa cuchoquesera Ayacucho-Peru. . . . .	8
2.3. Esquema. . . . .	9
2.4. a) Apoyados sobre el suelo b) Elevados. . . . .	10
2.5. Distribución por gravedad. . . . .	11
2.6. Esquema sección típica de una tubería. . . . .	11
2.7. Sistema de flujo de fluidos. . . . .	12
2.8. Sección de tubería. . . . .	13
2.9. Flujo laminar. . . . .	14
2.10. Flujo turbulento. . . . .	14
2.11. The Hanoi Network. . . . .	19
2.12. Picos máximos y mínimos de una función. . . . .	23
2.13. Proceso de conversión de número entero a binario. . . . .	28
2.14. Cruce de un Punto. . . . .	32
2.15. Cruce de dos Punto. . . . .	32
2.16. Cruce Uniforme. . . . .	32

2.17. Mutación. . . . .	33
3.1. RED DE ASPEROVITS Y SHAMIR. . . . .	35
3.2. RED MOLLEPATA. . . . .	36
4.1. DIAGRAMA DE FLUJO. . . . .	43
5.1. Red hidráulica, con presión y caudales, para [D1]. . . . .	50
5.2. Red hidráulica, con presión y caudales, para [D2]. . . . .	51
5.3. Red hidráulica, con presión y caudales, para [D2]. . . . .	56
5.4. Numero de iteraciones Vs % Error. . . . .	57
5.5. Resultado de Calculo "Epanet". . . . .	58
6.1. Red hidráulica, con presión y caudales, para [D1]. . . . .	61
6.2. Red hidráulica, con presión y caudales, para [D2]. . . . .	62
6.3. Numero de iteraciones Vs % Error. . . . .	63
6.4. Red hidráulica, con presión y caudales, para el mejor resultado. . . . .	64
7.1. Costos obtenidos por diferentes autores. . . . .	65

# Capítulo 1

## Generalidades

### 1.1. Antecedentes

Diversos investigadores han abordado el problema de la optimización del diseño de tuberías del sistemas de abastecimiento de agua potable de quienes se puede resaltar:

- La técnicas de enumeración (explícita e implícita) planteado por Yates(1984) y Gessler(1985), son métodos confiables de búsqueda global, su aplicación en el diseño de tuberías de tamaños prácticos es limitada, debido a que el espacio de búsqueda es enorme requiere de mucho tiempo de proceso computacional.
- Kessler y Shamir (1989), aplicaron el método del gradiente de programación lineal (GLP), esto como una extensión del método propuesto por Asperovits y Shamir (1977), el cual consiste de dos etapas: un problema LP se resuelve para una distribución de flujo dada y luego se realiza una búsqueda en el espacio de variables de flujo.
- Fujiwara y Khang (1990) utilizaron un método de descomposición de dos fases que se extendía al de Asperovits y Shamir (1977) a un modelo no lineal.

- Simpson y Goldberg (1994), Dandy y Murphy (1994) y Savic y Walters (1997) emplearon el algoritmo genético simple (SGA) y el GA mejorado.

## 1.2. Planteamiento del Problema

Para la dotación de agua potable a una población se requiere diferentes Obras hidráulicas con funciones específicas. Una de las infraestructuras del sistema de abastecimiento de agua potable es la red de distribución, el diseño de esta infraestructura resulta extremadamente compleja y su complejidad va creciendo de acuerdo al tamaño de la red, esto debido a la no linealidad de las variables que impide formular métodos exactos de solución.

### 1.2.1. Problema Principal:

Complejidad en lograr el diseño óptimo(económico-técnico) de la infraestructura red de abastecimiento de agua potable.

### 1.2.2. Problemas Secundarios:

- a) ¿Qué Modelo de optimización se ajusta mejor al problema?
- b) ¿Qué Modelo de calculo hidráulico podemos emplear?
- c) ¿Qué ecuaciones de perdida podremos emplear?

## 1.3. Justificación e Importancia

Un Artículo del Diario la Republica con fecha 22 de marzo de 2015. Alerta la situación actual de la problemática del abastecimiento de agua potable, señalando que:

- Una población de personas mayor a 748 millones en el mundo no cuentan con acceso al recurso de agua potable.
- Un 10% de Personas en el mundo carece de acceso a mejores fuentes de abastecimiento de agua.
- En el mundo Miles de personas entre mujeres y niños usan el 25% del día para recolectar agua.
- Teniendo como contexto lo señalado anteriormente el secretario general de la ONU, Ban Ki-Moon, manifestó que: "Dependemos del agua para la salud pública y el progreso equitativo, y el agua es esencial para la seguridad alimentaria y energética, y sustenta el funcionamiento de las industrias".

Fuente:[[Diario La Republica, 2015](#)].

Debido a esta realidad la necesidad de plantear un modelo adecuado de cálculo hidráulico y optimización es de vital importancia ya que plantea una infraestructura más eficiente, que verifique los parámetros normativos, y resulte económica en sí. Esto llevara consigo una inversión adecuada y permitirá en consecuencia dar más espacio para que más poblaciones cuenten con esta infraestructura.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Generales**

Obtener un diseño óptimo(económico-técnico) cumpliendo los parámetros técnicos que la normativa peruana exige.



### 1.4.2. Específicos

- Implementar un adecuado modelo de optimización.
- Verificar la idoneidad del modelo de cálculo hidráulico.
- Verificar que ecuación de perdidas es idónea para el cálculo Hidráulico.

## 1.5. Hipótesis

### 1.5.1. Hipótesis Global

Será posible lograr una herramienta de diseño óptimo(económico-técnico).

### 1.5.2. Sub-Hipótesis

- Existirá una técnica adecuada para la optimización del problema planteado.
- Será el método del "Gradiente Hidráulico", adecuado como herramienta de cálculo hidráulico.
- Cual de las ecuación de perdida planteadas por "*Hazen – Williams*" y "*Darcy – Weisbach*" serán las adecuadas para la investigación.

## 1.6. Limitaciones

El estudio y aplicación del flujo de fluidos se vera limitado como: fluido estacionario, incompresible y unidimensional.

En cuanto a la optimización del problema, se desarrollara empleado los conceptos que plantea la técnica de algoritmos genéticos.

## 1.7. Organización del Estudio

El presente trabajo de tesis se organizo manteniendo una forma lineal posible en la secuencia.

- **Capítulo 1**, se presenta y expone el problema de investigación, de como ha sido abordado en años pasados y como viene siendo tratado en la actualidad. Además se define la importancia y su justificación del presente trabajo de investigación, llegando a plantear los objetivos final que persigue la tesis formulando hipótesis que tendrán q ser validadas.
- **Capítulo 2**, se presenta el marco teórico en la que se definen conceptos fundamentales en materia de cálculo hidráulico y optimización.
- **Capítulo 3**, se presenta los materiales y métodos que emplearemos en el proceso de desarrollo de la tesis, así como el procedimiento a seguir durante la investigación.
- **Capítulo 4**, se presenta la formulación del problema y el diagrama de flujo para su respectiva programación.
- **Capítulo 5**, se aborda el problema teórico el cual es desarrollado paso a paso.
- **Capítulo 6**, se aborda el Problema de caso real presentando los resultados.
- **Capítulo 7**, se presenta la comparación de resultados del problema teórico obtenidos por los diferentes investigadores.
- **Capítulo 8**, se presenta las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

# Capítulo 2

## Marco teórico y marco conceptual.

### 2.1. Parte Introduciría.

La infraestructura de abastecimiento de agua potable esta compuesta por: Captación, Líneas de conducción, embalses para almacenamiento de agua bruta, Planta de tratamiento para agua potable, almacenamiento del agua potable y la red de distribución.

#### 2.1.1. Captación:

- En manantial, la captación debe hacerse con bastante cuidado, haciendo protección de posibles contaminantes del lugar de afloramiento esto se lograra delimitando un área cerrada.
- En agua superficiales, la captación se hace mediante bocatomas en algunos casos se emplean galerías filtrantes paralelas o perpendiculares al trayecto del curso de agua.
- La captación de las aguas subterráneas se hace mediante pozos o galerías filtrantes.

En la fig.2.1, podemos observar diferentes formas con la que se capta el agua: *a)* acuífero, *b)* Riachuelo, *c)* Rio, *d)* Pozo.



a)



b)



c)



d)

Figura 2.1: Formas de Captar Agua.

### 2.1.2. Líneas de conducción:

La línea de conducción es la infraestructura que transporta agua de un componente del sistema a otra, como podría ser el caso de la línea Captación-Embalse y/o Embalse-Planta de Tratamiento. Esta infraestructura puede ser de canales y/o tubería.

### 2.1.3. Almacenamiento de agua bruta:

Para considerar el almacenamiento de agua bruta la fuente de agua no dispone de un caudal de dotación con la capacidad de abastecer durante todo el año, para amortizar esta

deficiencia, se consideran la construcción de embalses. Una muestra de esta infraestructura la apreciamos en la Fig.2.2



Figura 2.2: Presa cuchoquesera Ayacucho-Peru.

#### 2.1.4. Tratamiento:

Esta infraestructura es la parte más delicada del sistema, ya que de ella depende la calidad de agua que se va consumir en cuanto a salubridad tratamiento del agua para hacerla potable es la parte más delicada del sistema en cuanto a salubridad. El tipo de tratamiento es muy variado en función de la calidad del agua bruta. Una planta de tratamiento de agua potable esta compuesto por las siguientes obras:

- Reja de retención para material grueso flotante y de arrastre de fondo.
- Desarenador, su objetivo es retener material en suspensión de tamaño fino.
- Floculadores, zona donde se le adicionan agentes químicos con la finalidad de facilitar la decantación de sustancias en suspensión coloidal y materiales muy finos.
- Decantadores o sedimentadores, tienen la función de separar una parte importante de los materiales finos;

- Filtros, su finalidad es la de terminar de retirar el material en suspensión;
- Dispositivos de desinfección.

Fig.2.3, esquema de proceso de una Planta de tratamiento de agua potable, considerando las partes mas importantes.

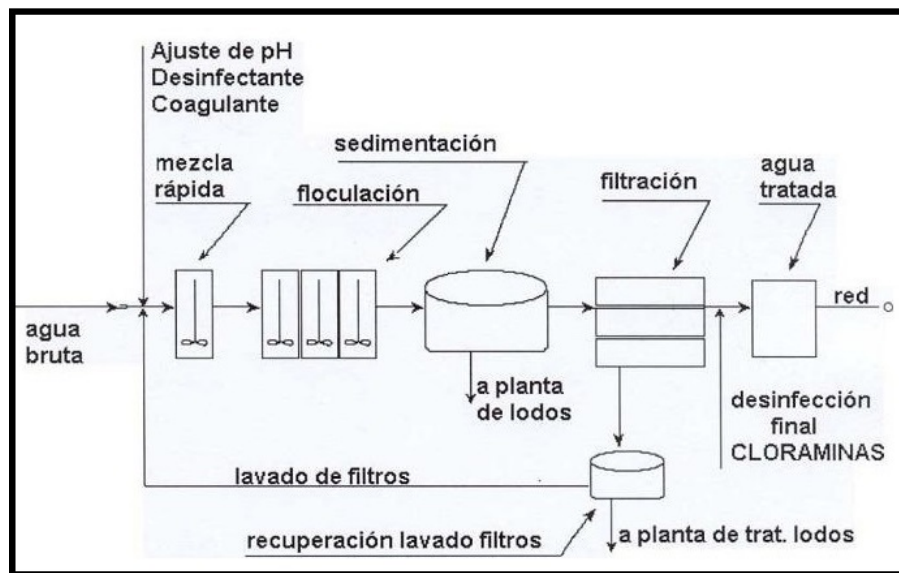


Figura 2.3: Esquema.

### 2.1.5. Almacenamiento de agua tratada:

Tiene por función almacenar agua Potable cuyo volumen sera las compensación de las variaciones horarias del consumo que se presentan en un día y se considera un volumen estratégico para situaciones de emergencia como es el caso de los incendios. Por lo general se hace uso de dos tipos de tanques para el almacenamiento de agua tratada,tanque apoyado en suelo y el tanque elevado dotado de dosificador o hipoclorador.





Figura 2.4: a) Apoyados sobre el suelo b) Elevados.

### 2.1.6. Red de distribución:

La presente tesis esta enfocada en el diseño de esta obra hidráulica, para su diseño por lo general es considerado desde el tanque de agua tratada. Consta de:

- Tuberías principales, secundarias y terciarias.
- Tanques de almacenamiento intermediarios.
- Válvulas que permitan operar la red, y sectorizar el suministro en casos excepcionales, como son: en casos de rupturas y en casos de emergencias por escasez de agua.
- Dispositivos para macro y micro medición. Se utiliza para ello uno de los diversos tipos de medidores de volumen.
- Derivaciones domiciliars.

La red de distribución de agua potable en pueblos y ciudades son por lo general anillos cerrados, pero en comunidades rurales dispersas la red es ramificada.

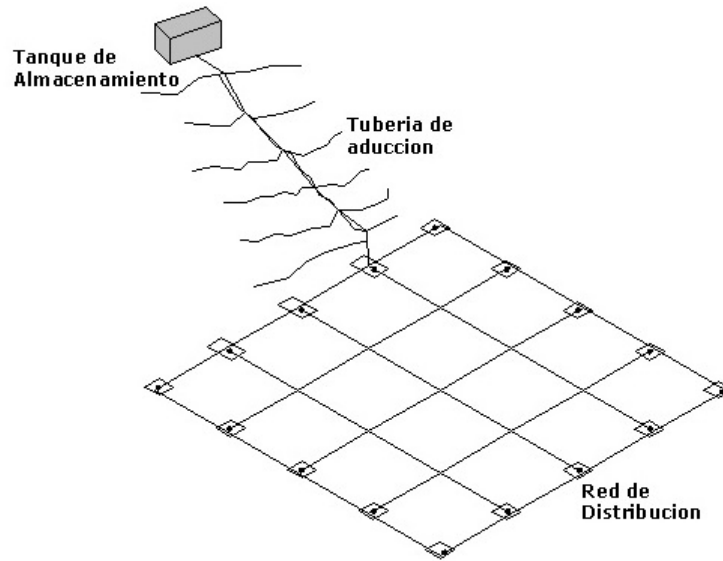


Figura 2.5: Distribución por gravedad.

## 2.2. Hidráulica de tuberías.

En la Fig.2.5 se aprecia una red, el cual en esencia es un conjunto de tuberías, dispositivos Mecánicos y accesorios unidas entre si para transportar agua potable, si cogemos una sección de tubería veríamos lo que muestra Fig.2.6. y esta a su vez la podemos describir con la Ecuación de Bernoulli.

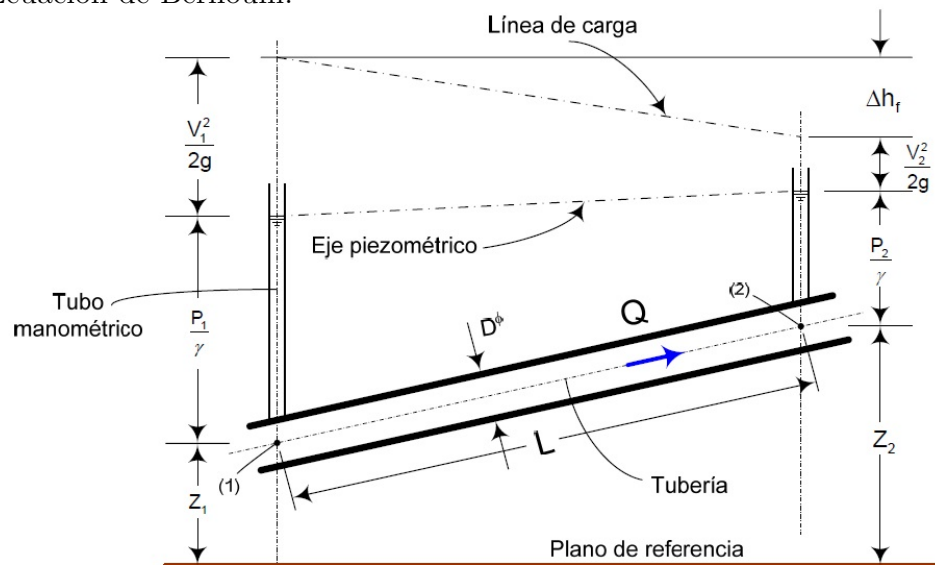


Figura 2.6: Esquema sección típica de una tubería.



### 2.2.1. Ecuación de Bernoulli.

En dinámica de fluidos, el principio de Bernoulli, describe el comportamiento de un líquido moviéndose a lo largo de una corriente de agua. Las pérdidas y ganancias de energía en un sistema, puede ser representado por la fig.2.7.[Robert L. Mott, 2006, p.203(Fig.7-6)].

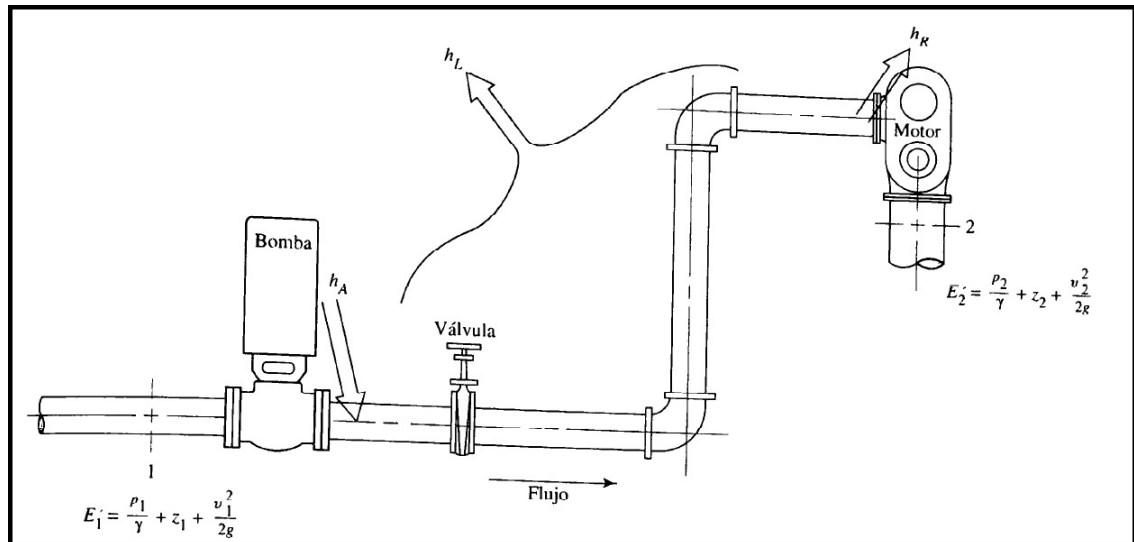


Figura 2.7: Sistema de flujo de fluidos.

Donde :

- $h_A$ ; Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico, como una bomba.
- $h_R$ ; Energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico, como un motor de fluido.
- $h_L$ ; Pérdida de Energía del sistema por la fricción en las tuberías, o pérdidas menores por válvulas y otros accesorios.

Queda expresada por la ecuación 2.1.[Robert L. Mott, 2006, p.202(Ecu.7-1)].

$$E_1 + h_A - h_R - h_L = E_2 \quad (2.1)$$

En un sistema de agua potable por gravedad se hace nulo las expresiones  $h_A$  y  $h_R$ , de la Ecuación 2.1. En consecuencia quedaría representada por la Ecuación 2.2. [Arturo Rocha Felices, sf, p.08(Ecu.1.6)].

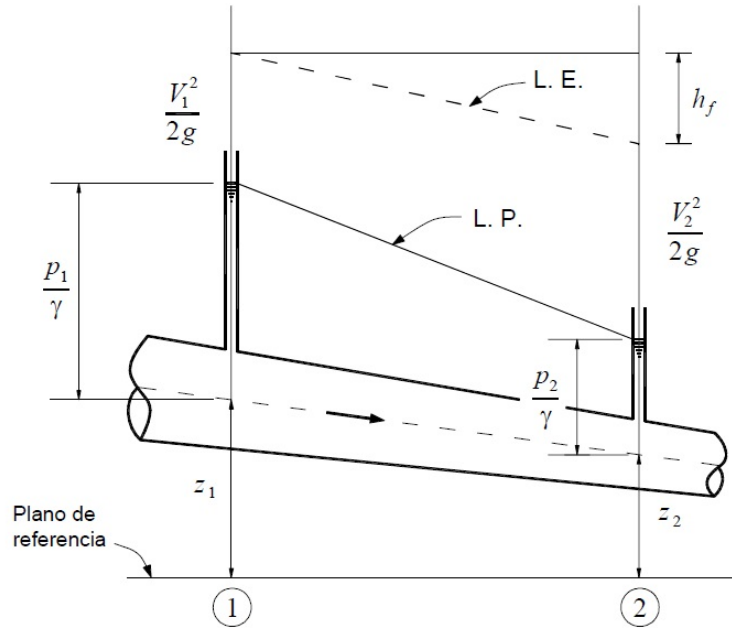


Figura 2.8: Sección de tubería.

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\lambda} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\lambda} + z_2 + hf_{1-2} \quad (2.2)$$

Donde:

- $V$ ; Velocidad del fluido en la sección considerada.
- $g$ ; Aceleración gravitatoria
- $p$ ; Presión a lo largo de la línea de corriente.
- $\lambda$ ; Peso específico del fluido.
- $Z$ ; Altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.
- $hf_{1-2}$ ; Pérdida por la fricción con la tubería.

### 2.2.2. Flujo laminar y turbulento.

#### a.- Flujo laminar:

Las partículas del fluido se mueven en dirección paralelas, formando capas o láminas, siendo el flujo uniforme y regular. La viscosidad es dominante en el movimiento del fluido.

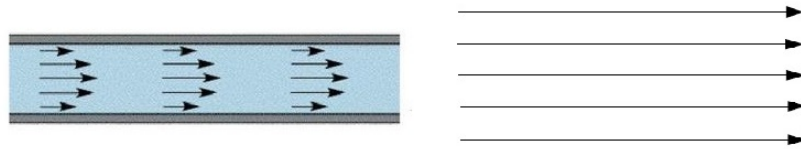


Figura 2.9: Flujo laminar.

#### b.- Flujo turbulento:

El movimiento de las partículas es de forma desordenada, en toda direcciones. Siendo imposible conocer el trayecto individual de cada partícula. Para caracterizar el movimiento se debe considerar el efecto de la viscosidad y turbulencia.

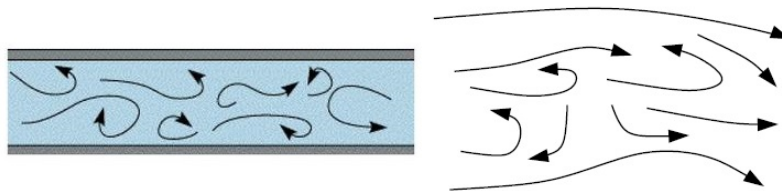


Figura 2.10: Flujo turbulento.

### 2.2.3. Número de Reynolds.

El número de Reynolds es adimensional y se utiliza en mecánica de fluidos con el objeto de caracterizar el movimiento del fluido. El valor de dicho número indica el tipo de flujo (laminar, transición o turbulento). El número de Reynolds está definido como la relación entre fuerzas inerciales y fuerzas viscosas.

$$R_e = \frac{\text{Fuerzas Inerciales}}{\text{Fuerzas Viscosas}} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \quad (2.3)$$

Donde:

$\rho$  Densidad del líquido.

$V$  Su velocidad media.

$D$  Diámetro de la tubería.

$\mu$  La viscosidad del líquido.

$\nu$  La viscosidad cinemática del líquido.

### 2.2.4. Ecuaciones empíricas para determinar las pérdidas por fricción en tuberías.

Las formulaciones para calcular la pérdida por fricción  $hf_{i-j}$  (Ecu.2.2), más populares son las de "Hazen – Williams" y "Darcy – Weisbach".

#### a.- Ecuación de Hazen-Williams:

Es una fórmula empírica (desarrollada a partir de datos experimentales). Cuya expresión está dada por la (Ecu.2.2). [EPANET 2, 2002, p.27(Tabla.3.1)].

$$hf = 10,674 \left( \frac{Q}{C} \right)^{1,852} D^{-4,87} L \quad (2.4)$$

Donde:

- "Q"; es el caudal( $m^3/s$ )
- El coeficiente "C" depende del material de fabricación de la tubería, entre más lisa sea, el coeficiente será mayor.
- "D"; es el diámetro interior( $m$ )
- "L"; es la longitud de la tubería( $m$ )

En el Cuadro N° 2.1, muestra valores de C que la N.T.P. recomienda usar, para distintos tipos de materiales.

Cuadro 2.1: Coeficientes de fricción "C" en la fórmula de Hazen y Williams

TIPO DE TUBERIA	C
Acero sin costura	120
Acero soldado en espiral	100
Cobre sin costura	150
Concreto	110
Fibra de vidrio	150
Hierro fundido	100
Hierro fundido dúctil con revestimiento	140
Hierro galvanizado	100
Polietileno	140
Poli(cloruro de vinilo)(PVC)	150

Fuente: Obtenido desde la referencia [NORMAS LEGALES, 2006, p.02 (TABLA.01)]

### b.- Ecuación de Darcy-Weisbach

La ecuación fue inicialmente una variante de la ecuación de Prony, desarrollada por el francés Henry Darcy. En 1845 luego fue refinada por Julius Weisbach, de Sajonia.

Esta fórmula permite la evaluación apropiada del efecto de cada uno de los factores que inciden en la pérdida de energía en una tubería. La ventaja de ésta fórmula es que puede

aplicarse a todos los tipos de flujo hidráulico (laminar, transicional y turbulento). Cuya expresión esta dada por la(Ecu.2.5). [A.M.F. Universidad de Oviedo, sf, p.3(Ecu.3)].

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{8}{g} \cdot \frac{f}{\pi^2} \cdot \frac{L}{D^5} \cdot Q^2 \quad (2.5)$$

**Factor de fricción(f):** El factor de fricción f es adimensional y varía de acuerdo a los parámetros de la tubería (rugosidad y diámetro) y del tipo de flujo (número de Reynolds).

- **Para flujos laminares**( $R_e < 2000$ ). Se emplea la ecuación.2.6. [A.M.F. Universidad de Oviedo, sf, p.3 (Ecu.5)]. Formula de Hagen Poiseuille(Bhave, 1991):

$$f = \frac{64}{R_e} \quad (2.6)$$

- **Para flujo en transición**( $2000 < R_e < 4000$ ). Se emplea una interpolación cúbica al Diagrama de Moody (Dunlop, 1991). [EPANET 2, 2002, p.181]:

$$f = [X_1 + R \{X_2 + R (X_3 + X_4)\}] \quad (2.7)$$

Donde:

$$\begin{aligned} R &= \frac{R_e}{2000} \\ X_1 &= 7FA - FB \\ X_2 &= 0,128 - 7FA + 2,5FB \\ X_3 &= -0,128 + 13FA - 2FB \\ X_4 &= R [0,032 - 3FA + 0,5FB] \\ FA &= Y^{-2} \\ FB &= FA \left[ 2 - \frac{0,00514215}{Y_2 \cdot Y_3} \right] \end{aligned}$$

$$Y_2 = \frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}$$

$$Y_3 = -0,86859 \ln \left[ \frac{\varepsilon}{3,7D} - \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right]$$

- **Para flujo turbulento** ( $Re > 4000$ ). Se emplea la ecuación.2.8. [A.M.F. Universidad de Oviedo, sf, p.3(Ecu.6a)]. Ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{\varepsilon_r}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right] \quad (2.8)$$

Donde:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (2.9)$$

### 2.2.5. Método del Gradiente.

El método del gradiente fue desarrollado por los profesores E. Todini y E. P. ÓConnell en la Universidad de Newcastle upon Tyne y por R. Salgado, como parte de su tesis doctoral en 1982-1983. Todini y Pilati (1987) plantearon la forma definitiva del método, en el cual las ecuaciones de energía individuales para cada tubo se combinan con las ecuaciones de masa individuales en cada unión con el fin de obtener una solución simultánea tanto de los caudales en las tuberías como de las alturas piezométricas en los nodos. [Juan Saldarriaga, 2007, p.415].

En la Fig.2.11, se muestra un ejemplo. Donde las restricciones del sistema son:

Las demandas de agua  $[q]$ , las cabezas fijas  $[h_o]$ , las leyes de pérdida de carga para cada tubería  $[K_i(Q_i)]$ .

El problema es determinar todos los caudales  $[Q]$  en las tuberías y todas las cabezas desconocidas  $[h]$  en los nodos bajo la suposición del estado estacionario.

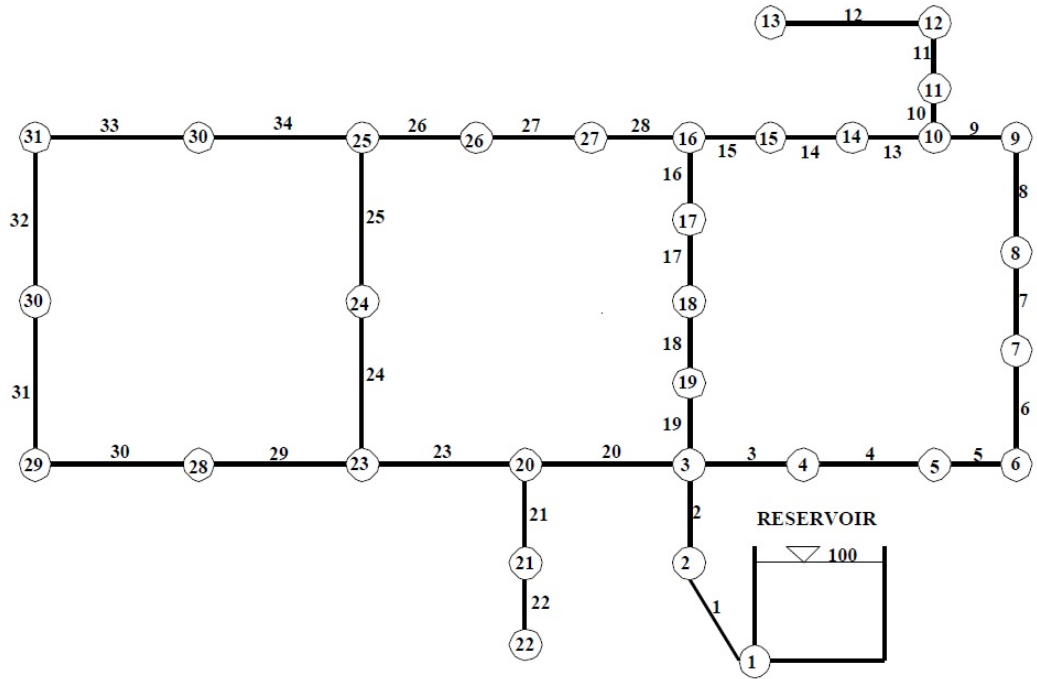


Figura 2.11: The Hanoi Network.

En forma de matriz el problema se puede formular como sigue (Todini, 1987).[Ahmed, Iftekhar, 1997, p.34(Ecu.3.2.5.1)]:

$$[A_{12}][h] + [K_i(Q_i)] = -[A_{10}][h_0] \quad (2.10)$$

$$[A_{21}][Q] = [q] \quad (2.11)$$

$$[A_{12}] = [A_{21}^T] \quad (ne, nn) \text{ Matriz conectividad, Nodos de cabeza desconocidos.}$$

$$[A_{10}] = [A_{01}^T] \quad (ne, no) \text{ Matriz conectividad, Nodos de cabeza fija.}$$

$$[Q^T] = [Q_1, Q_2, \dots, Q_{ne}] \quad (ne, no) \text{ Caudales en cada tubo.}$$

$$[q^T] = [q_1, q_2, \dots, q_{ne}] \quad (1, nn) \text{ Demandas nodales.}$$

$$[h^T] = [h_1, h_2, \dots, h_{nn}] \quad (1, nn) \text{ Cabezas nodales desconocidas.}$$

$$[h_0^T] = [h_{01}, h_{02}, \dots, h_{0no}] \quad (1, no) \text{ Cabezas nodales fijas.}$$



$$[K^T(Q)] = [K_1, K_2, \dots, K_{ne}] \quad (1, ne) \text{ Leyes que expresan pérdidas de carga en tuberías.}$$

Donde:

- nn = Número de nodos con cabeza desconocida.
- no = Número de nodos con cabeza fija.
- ne = Número de tuberías con flujo desconocido.
- Matriz de conectividad, asociada a cada uno de los nodos de la red.

$$[A_{12}(i, j)] = \begin{cases} -1 & \text{nodo inicial (i) de la tubería} \\ 0 & \text{Si no hay conexión} \\ 1 & \text{nodo final (j) de la tubería} \end{cases}$$

Todini y Pilati (1987). Demostraron que las condiciones necesarias para el flujo en estado estacionario son simplemente el cumplimiento simultáneo del equilibrio nodal(Ecu.2.11) y la relación pérdida-flujo(Ecu.2.10) de la cabeza fija. Ambas condiciones se pueden expresar con la ecuación Ecu.2.12. [Ahmed, Iftekhhar, 1997, p.35(Ecu.3.2.5.2)]:

$$\begin{vmatrix} [A_{11}] & [A_{12}] \\ [A_{21}] & [0] \end{vmatrix} \begin{vmatrix} [Q] \\ [H] \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -[A_{10}] [H_0] \\ [q] \end{vmatrix} \quad (2.12)$$

Donde:

- $[A_{11}]$ : Matriz(ne,ne) dependiente de la relación de pérdida-flujo de la cabeza.

$$A_{11} = \begin{vmatrix} K_1 [Q_1]^m & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & K_2 [Q_2]^m & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & K_3 [Q_3]^m \end{vmatrix}$$

- $[A_{12}]$ : Matriz topológica(ne,ne).
- $[A_{21}] = [A_{12}]^T$
- $[A_{10}][h_0]$ : Vector conocido(ne,1).

El método del gradiente consiste en hacer una expansión truncada de Taylor. Al operar simultáneamente sobre el campo  $([Q], [H])$  y aplicando el operador gradiente se obtiene la ecuación(2.13). [Juan Saldarriaga, 2007, p.418(Ecu.7.60)]:

$$\begin{vmatrix} [N] [A_{11}] & [A_{12}] \\ [A_{21}] & [0] \end{vmatrix} \begin{vmatrix} [dQ] \\ [dH] \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} [dE] \\ [dq] \end{vmatrix} \quad (2.13)$$

De la ecuación 2.13, aplicando operadores matemáticos se llega a las siguientes ecuaciones iterativas:

- Para la iteración de las Cargas Ref.[Ahmed, Iftekhhar, 1997, p.38(Ecu.3.2.5.17)]:

$$[h_a]^{k'+1} = -([A_{21}][N]^{-1}[A_{11}]^{-1}[A_{12}])^{-1} \quad (2.14)$$

$$[h_b]^{k'+1} = [A_{12}][N]^{-1}([Q]^{k'} + [A_{11}]^{-1}[A_{10}][h_0]) + ([q] - [A_{21}]Q^{k'}) \quad (2.15)$$

$$[h]^{k'+1} = [h_a]^{k'+1}[h_b]^{k'+1} \quad (2.16)$$

- Para la iteración de los Caudales Ref.[Ahmed, Iftekhhar, 1997, p.38(Ecu.3.2.5.18)]:

$$[Q]^{k'+1} = (I - [N]^{-1})Q^{k'} - [N]^{-1}[A_{11}]^{-1}([A_{12}][h]^{k'+1} + [A_{10}][h_0]) \quad (2.17)$$

## 2.3. Optimización en ingeniería.

Podemos definir como un ajuste en las entradas para lograr que la salida alcance un pico mínimo o máximo esto dependiendo del interés al que queremos llegar. Cuando nuestro proceso es una evaluación a nivel de costo, la salida de ganancia debe ser un pico máximo y de pérdida mínimo. Un problema de optimización se puede plantear mediante un modelo matemático descrito por  $f : X \subseteq R^n \rightarrow R$ , donde  $X$  es el espacio de búsqueda. El problema de optimización se define como la siguiente ecuación 2.18.[Norberto H.R., 2012, Pag.08(Eq.1.1)]:

$$\min f(X)_{\subseteq R^n} \text{ Sujeto a } C_k \leq 0. \quad (2.18)$$

Donde:

- $X \subseteq R_n$ , es un conjunto en el espacio Euclidiano de dimensión  $n$ .
- $f(X)$ , es un conjunto de números reales.
- $k$ , es el número de restricciones.
- $C_k$ , proporciona la forma de la restricción y la restricción es una función que limita el espacio de búsqueda, a esto se le llama problema de optimización restringido.
- Un punto  $X_i$ , se le llama punto factible si satisface todas las restricciones y al conjunto de todos los puntos factibles se le llama conjunto factible de búsqueda.

En caso las restricciones no estén definidas, se considera un problema de optimización no restringido, por lo que el dominio de la función es el espacio factible de búsqueda.

La optimización esta ligado en diferentes campos, estos pueden clasificarse por las propiedades de la función objetivo, la manera de definir las restricciones, el dominio, la naturaleza de la función objetivo, etc.

### 2.3.1. Función Objetivo.

Es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar ya sea maximizando o minimizando. Los ejemplos de funciones objetivo que se pueden señalar son: minimizar los costes variables de operación de un sistema eléctrico, minimizar el uso de material empleado en la fabricación de un producto, etc.

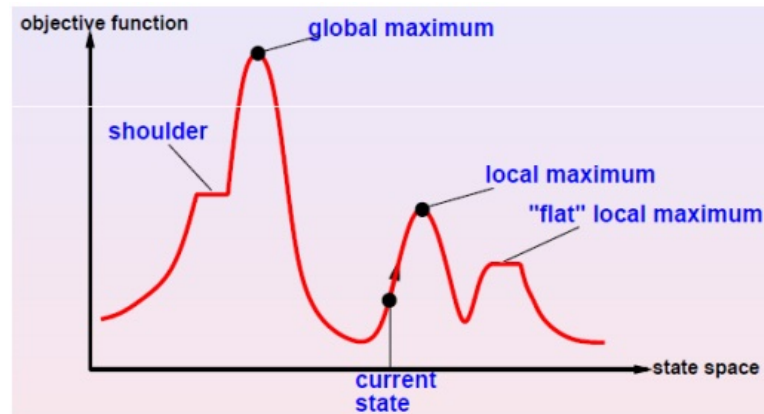


Figura 2.12: Picos máximos y mínimos de una función.

### 2.3.2. Variables.

Están representados por las decisiones que se pueden considerar estas afectan el valor de la función objetivo. Las variables se pueden clasificar en independientes (principales o de control) y variables dependientes (auxiliares o de estado).

### 2.3.3. Restricciones.

Son un conjunto de relaciones que quedan expresadas mediante condicionales lógicos, ecuaciones e inecuaciones esto para que ciertas variables estén obligadas a cumplir.

## **2.4. Inteligencia artificial(IA).**

La IA es una rama de la ciencia e ingeniería computacional, cuyo propósito es estudiar y desarrollar modelos de cómputo idóneos en realizar actividades que consideramos propia de los seres humanos como es la inteligencia esto en base a dos de sus características primordiales los cuales son el razonamiento y la conducta.

### **2.4.1. Ramas que componen la inteligencia artificial.**

En la actualidad la IA abarca tres grandes ramas las cuales son:

- Lógica difusa
- Redes neurales
- Algoritmos genéticos

Cada cual posee características especiales con función específica, estas pueden ser aprovechadas de acuerdo a la naturaleza del problema.

#### **a.-Lógica difusa.**

Esta rama de la IA permite a una computadora procesar información del mundo real en una escala degradada entre lo falso y verdadero.

#### **b.-Redes neurales artificiales.**

Reproduce los procesos de solución de un problema tal como lo hace el cerebro humano,teniendo como un operador importante el conocimiento de la experiencia, una red neural hace uso de problemas resueltos tomados como ejemplo para luego construir un

sistema capaz de tomar decisiones. Los problemas de aplicación en este campo son aquellos cuya solución computacional no son precisas o necesita algoritmos muy extensos y tediosos, siendo para este caso un ejemplo el reconocimiento de imágenes.

## **2.5. Algoritmos genéticos.**

### **2.5.1. Métodos de optimización heurísticos.**

La heurística es una metodología que se basa en la experiencia, siendo posible su uso como herramienta para resolver problemas tales como calcular el uso de recursos necesarios.

### **2.5.2. Métodos de optimización metaheurística.**

La metaheurística es un método que deriva de lo heurístico, en su metodología organiza la solución inter actuando con procedimientos de mejora local y estrategias que permitan escapar de los óptimos locales realizando búsquedas en regiones más factibles.

### **2.5.3. Proceso estocástico .**

Son procesos no deterministas en la medida que el subsiguiente estado del sistema está determinado tanto por las acciones predecibles del proceso como por elementos aleatorios.

### **2.5.4. Definición de los algoritmos genéticos.**

Es una técnica de optimización que esta dentro de la metaheurística y estocástica. Consiste en desarrollar un proceso de búsqueda iterativa basado en los principios de evolución de la selección natural.

### 2.5.5. Relevancia de los algoritmos genéticos.

Esta técnica tienen cualidades de gran impacto siendo usado en el proceso de optimización industrial, biológico, químico, etc., esto debido a su versatilidad de trabajar con funciones lineales, no lineales, discretas y probabilísticas. Este método no necesita definir la existencia de la derivada de la función objetivo. Razones que determinan el éxito de los AG:

- Los AG trabajan con un conjunto de parámetros codificados, no con los parámetros de forma directa.
- Los AG realizan una búsqueda con un conjunto de individuos en todo el espacio factible no solo con un punto.
- Los AG usan la información de la función objetivo, no con sus derivadas.
- Los AG usan reglas de transición estocástica, no reglas deterministas.
- Los AG son procedimientos robustos de optimización que pueden ser implementados en arquitectura de cómputo.

## 2.6. Operadores genéticos.

Después de parametrizar el problema en variables, se codifican en cromosoma la población inicial. El uso de operadores de los AG se aplicarán sobre estos cromosomas, o la población. En el AG va de manera implícita el método para resolver el problema. Se debe tener en cuenta que el AG es independiente al problema, esto le da la cualidad de ser robusto al resultar útil en cualquier problema de aplicación.

Al codificarse en cromosoma estas compiten para evaluar cuál constituye a la mejor solución, para después hacer una selección de los individuos llegando a definir de acuerdo a sus

cualidades quienes pueden ser los progenitores de la siguiente generación. Por tanto para hacer uso del AG consiste en definir de qué parámetros depende el problema, hacer su codificación en cromosoma y aplicar los operadores de la evolución: selección y reproducción sexual con intercambio de información y mutaciones que generen diversidad.

### **2.6.1. Codificación de las variables.**

Los cromosomas deben contener información de la solución que representa el problema, siendo la codificación un aspecto importante el cual puede desarrollarse de diversas maneras siendo la más utilizada la cadena de números binarios (1s o 0s). Pero también se puede realizar la codificación mediante números enteros o incluso cadenas de palabras.

La elección de la codificación dependerá también del problema a resolver pues puede darse la situación en la que la resolución de un caso sea más óptimo el uso de una codificación basada en números reales mientras que esa codificación complique la solución en otro caso. Así pues hay que estudiar la codificación más óptima según el caso que se esté estudiando.

#### **Codificación binaria.**

Es un proceso de codificación cuyo uso es el más extendido. En esta codificación cada cromosoma esta denotada de bits (0 o 1). Posee la ventaja en abarcar muchos cromosomas incluso con un número reducido de genes. Sin embargo esta opción no es la idónea para muchos problemas y en algunas ocasiones es necesario realizar correcciones después de la reproducción y/o mutación.



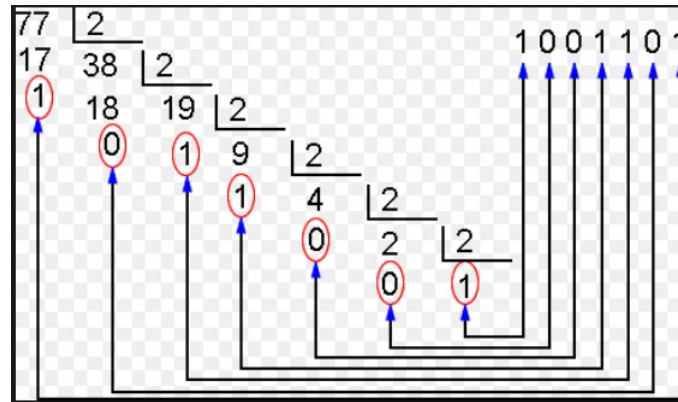


Figura 2.13: Proceso de conversión de número entero a binario.

### 2.6.2. Generación de la población inicial.

La población es un grupo de individuos, en los AG se genera de manera aleatoria y cada individuo tiene información que se encuentra codificada en su cromosoma, esta información contiene soluciones del problema a optimizar. Cuando la evolución del AG termina, el código genético de cada individuo es una solución que se encuentra en el óptimo o cercano al óptimo.

### 2.6.3. Selección.

La selección es un proceso en que se identifica a los individuos con mejores aptitudes quienes serán los que tengan mayor probabilidad de reproducción, esto en concordancia a la teoría de Darwin quien define que los más capacitados son quienes deben sobrevivir para tener una descendencia con mejores facultades a los padres. Después de haber evaluado cada cromosoma y definida una puntuación de acuerdo a sus aptitudes se procede a crear la nueva población, esto considerando que los mejores rasgos se transmitan a esta nueva generación. La selección de individuos puede realizarse de distintas maneras, las cuales indicamos:

**a.- Selección por rueda de ruleta.**

Se crea una ruleta con los cromosomas de la generación a evaluar, cada cromosoma tendrá una parte de la ruleta esto de acuerdo a la puntuación que tenga cada individuo, después se hace girar la ruleta y se selecciona el cromosoma en el que para la ruleta, esto Obviamente considerando la puntuación del cromosoma quien tendrá mayor probabilidad de selección. En caso de que las probabilidades difieran mucho este método de selección dará problemas debido a que un cromosoma tiene un 90 % de posibilidades de ser seleccionado el resto apenas saldrá lo que reduciría la diversidad genética.

**b.- Selección por rango.**

Este método asigna un rango numérico a cada cromosoma, basado en la aptitud del individuo y su selección se realiza en base al ranking.

**c.- Selección elitista.**

Este método de selección considera al mejor cromosoma o a un grupo de ellos en la nueva población. Este método puede mejorar el funcionamiento de los algoritmos genéticos al evitar que se pierda la mejor solución. Una variación del elitismo es que el mejor cromosoma solo se copie a la siguiente generación en caso de que tras una reproducción/mutación no se haya generado un cromosoma mejor.

**d.- Selección por estado estacionario.**

La descendencia de los individuos seleccionados en cada generación vuelve a la población genética preexistente, reemplazando a algunos de los miembros menos aptos de la anterior generación. Se conservan algunos individuos entre generaciones.

**e.- Selección por torneo.**

Se escogen de forma aleatoria un número de individuos de la población, y el que tiene puntuación mayor se reproduce, sustituyendo su descendencia al que tiene menor puntuación.

**f.- Selección escalada.**

Al incrementarse la aptitud media de la población, la fuerza de la presión selectiva también aumenta y la función de aptitud se hace más discriminadora. Este método puede ser útil para seleccionar más tarde, cuando todos los individuos tengan una aptitud relativamente alta y sólo les distinguan pequeñas diferencias en la aptitud.

**g.- Selección jerárquica.**

En esta selección, los individuos atraviesan múltiples rondas de selección en cada generación. Las evaluaciones de los primeros niveles son más rápidas y menos discriminatorias, mientras que los que sobreviven hasta niveles más altos son evaluados más rigurosamente. La ventaja de este método es que reduce el tiempo total de cálculo al utilizar una evaluación más rápida y menos selectiva para eliminar a la mayoría de los individuos que se muestran poco o nada prometedores, y sometiendo a una evaluación de aptitud más rigurosa y computacionalmente más costosa sólo a los que sobreviven a esta prueba inicial.

**h.- Otras selecciones.**

Existen otras técnicas de selección que simplemente se comentarán a continuación. Una de ellas es la selección por prueba de aptitud en las que los cromosomas con más aptitud tienen más posibilidad de ser seleccionados pero no la certeza. La selección generacional en la que ningún miembro de la población anterior se encuentra en la nueva.

#### 2.6.4. Reproducción o cruce.

Una vez se realiza la selección de los cromosomas se procede a realizar la reproducción o cruce entre dos de estos cromosomas más concretamente, el crossover consiste en el intercambio de material genético entre dos cromosomas. El objetivo del cruce es conseguir que el descendiente mejore la aptitud de sus padres. Para aplicar el cruce habrá que seleccionar con anterioridad dos individuos de la población con una de las diversas técnicas de selección que hemos mencionado en el punto anterior. Además esta selección puede elegir el mismo padre para un descendiente. Esto no es ningún problema pues se asegura la perpetuación del cromosoma más dominante pero si este cruce se produjese con mucha frecuencia podría acarrear consecuencias adversas en caso de que ese cromosoma dominante presente algunos genes no deseados. Hay diferentes formas de realizar los cruces para cada codificación siendo algunas técnicas aplicables indistintamente a las distintas codificaciones como veremos a continuación.

##### a.- Cruce 1 Punto.

Los dos cromosomas padres se cortan por un punto. Se copia la información genética de uno de los padres desde el inicio hasta el punto de cruce y el resto se copia del otro progenitor. Es una de las formas clásicas de cruce, y la podemos representar con la [fig.2.14](#).

##### b.- Cruce 2 Puntos.

Se trata de la misma filosofía que en el caso anterior, pero en este caso los padres se cortan por dos puntos. Se copiará al descendiente los genes de un cromosoma progenitor desde el principio hasta el primer punto de cruce, los genes del otro progenitor desde el primer

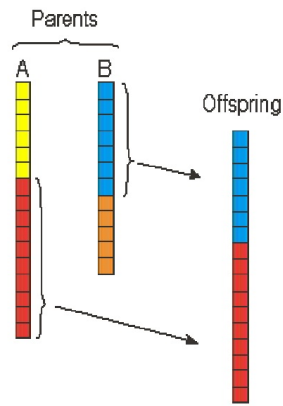


Figura 2.14: Cruce de un Punto.

punto de cruce hasta el segundo y del segundo punto de cruce hasta el final se copiará del otro progenitor. Podemos representar con la fig.2.15.

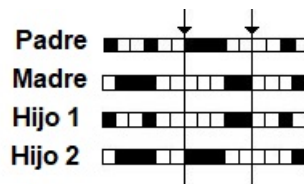


Figura 2.15: Cruce de dos Punto.

### c.- Cruce Uniforme

Cada gen del descendiente se obtiene de cualquiera de los padres de forma aleatoria. Podemos representar con la fig.2.16.



Figura 2.16: Cruce Uniforme.



# Capítulo 3

## Materiales y métodos

### 3.1. Tipo y diseño de la Investigación.

- Tipo de Investigación: Correlacional.
- Tipo de Estudio: Retrospectivo.
- Tipo de Diseño: No experimental.
- Tipo de Muestra: Muestreo no probabilístico

## 3.2. Población y Muestra.

### 3.2.1. Población.

En la investigación, la población que está involucrado, son las redes de abastecimiento de agua potable de las diferentes infraestructuras que se le instala en todos los centro poblados, sean pequeños pueblos o grandes ciudades, con la finalidad de transportar agua potable a las respectivas viviendas.

### 3.2.2. Muestra.

Emplearemos dos muestras, el 1<sup>ro</sup> nos servirá para visualizar el procedimiento de calculo (Problema de aplicación teórica), el 2<sup>do</sup> será la verificación de la aplicación real:

- **LA RED DE ASPEROVITS Y SHAMIR.** Red propuesta por Asperovits y Shamir (1977) consta de dos mallas, 6 nudos de consumo, 8 conducciones y un único punto de alimentación (Figura 3.1). Se trata de una red clásica para la verificación de modelos de diseño de redes de abastecimiento de agua.

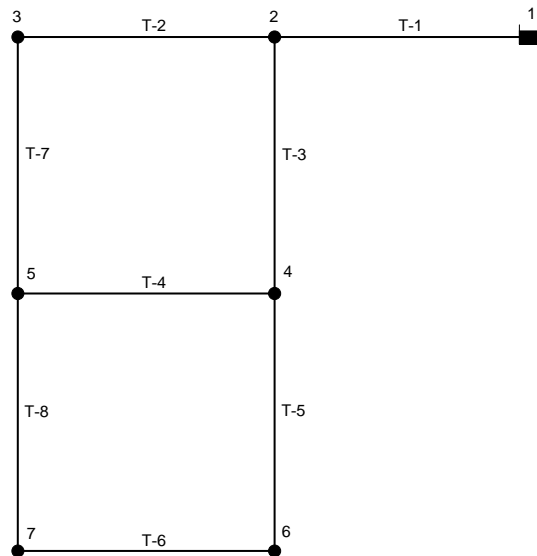


Figura 3.1: RED DE ASPEROVITS Y SHAMIR.



- **LA RED MOLLEPATA.** Infraestructura que es componente del Proyecto de Inversion Publica: "IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE, SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS LOCALIDADES DE HUASCAHURA, MOLLEPATA Y ANEXOS" (Figura 3.2). Localizado en el Distrito de Ayacucho, Provincia de Huamanga, Region Ayacucho. Con código SNIP:55506.

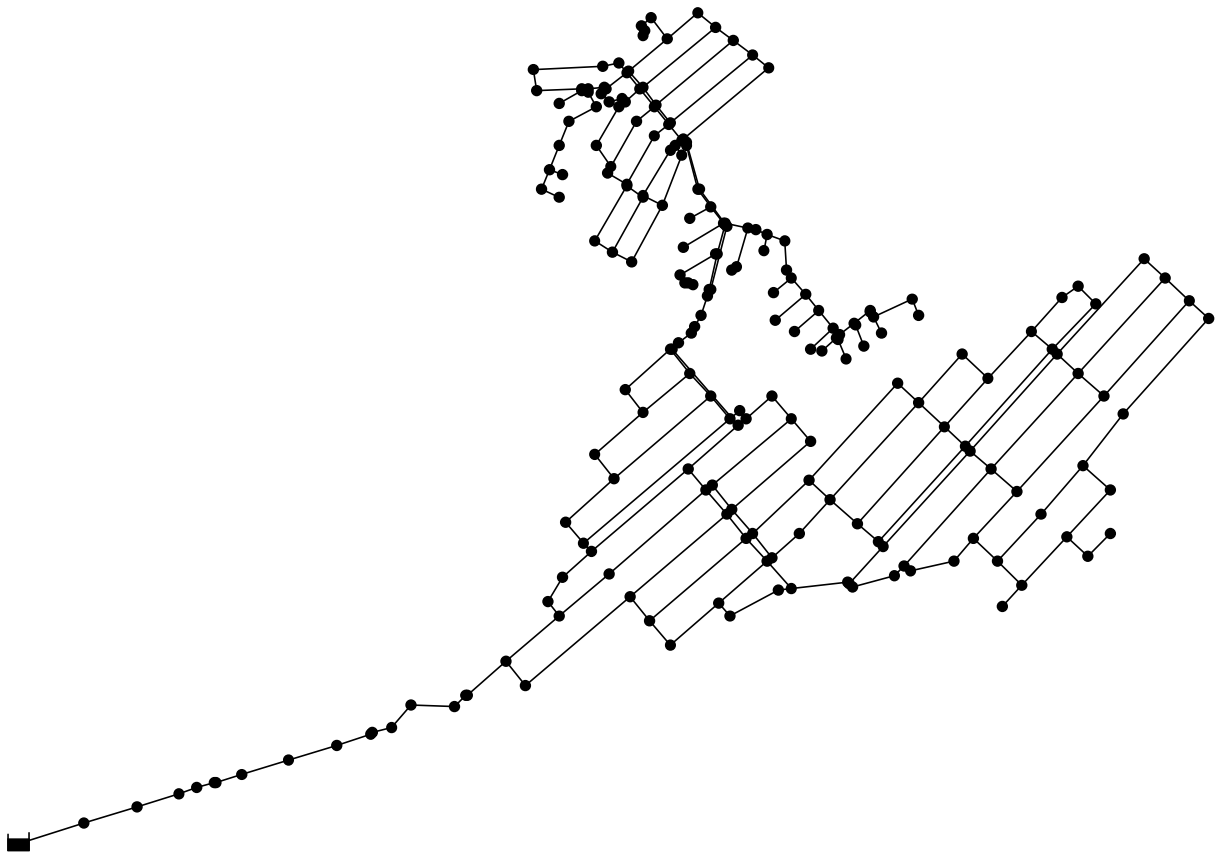


Figura 3.2: RED MOLLEPATA.

### 3.3. Materiales.

- **Expediente Técnico.** Los datos del expediente técnico, nos fueron de utilidad, especialmente con los planos topográficos, y los planos de la red de agua potable.
- **Excel 2016.** Herramienta que nos fue de utilidad como medio de ingreso de datos y visualización de resultados.
- **MATLAB R2016a.** Herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio(lenguaje M). Entorno en el cual codificamos las rutinas de calculo.
- **EPANET 2.0 Español.** Es un programa de análisis de sistemas de distribución de agua potable. En el "*MATLAB R2016a*", implementamos una rutina para la exportación de datos al "*Epanet*", con la finalidad de presentar los gráficos.

### 3.4. Procedimiento.

1. Se recopila información bibliográfica, para definir los conceptos, ecuaciones y parámetros por los que se rige el problema.
2. Se formula el problema, para luego construir el diagrama de flujo el cual sera programado en el "*MATLAB R2016a*".
3. Se Valida la herramienta planteada, con la Red propuesta por Asperovits y Shamir.
4. Se verifica la eficacia de la herramienta formulada, con la Red MOLLEPATA, problema de aplicación de caso Real.
5. De acuerdo a los resultados obtenidos se formulan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

# Capítulo 4

## Formulación del problema

### 4.1. Formulación matemática del problema.

El objetivo es de minimizar el costo de inversión de la red de abastecimiento de agua potable, el cual se expresa como:

$$\min(Z) \rightarrow Z = \sum_{i=1}^{ne} CD_i \cdot L_i \quad (4.1)$$

Donde:

- $CD_i$ , costo de la tubería  $i$  por metro.
- $L_i$ , longitud de la tubería  $i$  en metro.

Tal que los diámetros  $D_i$  de toda la red, satisfagan el calculo hidráulico con las demandas impuestas. Dicho calculo debe cumplir:

$$\begin{aligned} H_k &\geq H_{min} && \forall \text{ Nodo } k \\ V_{min} &\leq V_i \leq V_{max} && \forall \text{ Tuberia } i \end{aligned}$$

La NTP OS.050 Redes de distribución de agua para consumo humano. Establece los siguientes parámetros:

- $H_{min} \geq 10$ , metros de columna de agua.
- La presión estática no será mayor de 50 m en cualquier punto de la red
- $V_{min} \geq 0,6m/s$ .
- $V_{max} \leq 3,6m/s$ .
- En casos justificados se aceptará una velocidad máxima de  $5m/s$ .

Para Obtener los  $D_i$  de la Red de agua potable se emplea los operadores de los algoritmos Genéticos, el cual indicamos continuación:

1. Se codifica en el sistema binario los diámetros de tuberías comerciales.
2. Se genera la población inicial.
3. Se decodifica los diámetros de la población inicial, par evaluar el calculo hidráulico y seguido el valor comercial del sistema.
4. Se itera "n" veces la generación de la nueva población, efectuando Cruces de 1 punto y aplicando mutaciones de manera aleatoria. Haciendo evaluaciones hidráulicas y de costo. Eliminado a individuos que estén fuera de los parámetros. Eligiendo al mas idóneo en cada iteración para que este sea el progenitor dominante y efectuó el cruce a los otros individuos.
5. Culminado la iteración se muestra como resultado el de mejor individuo con mas aptitudes de solución al problema.

Para evaluar el calculo hidráulico, se emplea la formulación del método del gradiente hidráulico el cual queda descrito por la ecuación Ecu.4.2 y la ecuación Ecu.4.3:

$$[A_{12}][h] + [K_i(Q_i)] = -[A_{10}][h_0] \quad (4.2)$$

$$[A_{21}][Q] = [q] \quad (4.3)$$

$$[A_{12}] = [A_{21}^T] \quad (ne, nn) \text{ Matriz conectividad, Nodos de cabeza desconocidos.}$$

$$[A_{10}] = [A_{01}^T] \quad (ne, no) \text{ Matriz conectividad, Nodos de cabeza fija.}$$

$$[Q^T] = [Q_1, Q_2, \dots, Q_{ne}] \quad (ne, no) \text{ Caudales en cada tubo.}$$

$$[q^T] = [q_1, q_2, \dots, q_{ne}] \quad (1, nn) \text{ Demandas nodales.}$$

$$[h^T] = [h_1, h_2, \dots, h_{nn}] \quad (1, nn) \text{ Cabezas nodales desconocidas.}$$

$$[h_0^T] = [h_{01}, h_{02}, \dots, h_{0no}] \quad (1, no) \text{ Cabezas nodales fijas.}$$

$$[K^T(Q)] = [K_1, K_2, \dots, K_{ne}] \quad (1, ne) \text{ Leyes que expresan perdidas de carga en tuberias.}$$

$$K_i(Q_i) = hf_i = 10,674 \left( \frac{Q_i}{C_i} \right)^{1,852} D_i^{-4,87} L_i \quad (4.4)$$

Donde:

- $[q]$  = Demandas de agua.
- $[h_o]$  =Cabezas fijas.
- $[K_i(Q_i)]$ = Pérdida de carga para cada tubería, descrito con la ecuación de *HazenyWilliams*.
- $[Q]$  = Caudales desconocidos.
- $[h]$  = Cabeza desconocida.

- $nn$  = Número de nodos con cabeza desconocida.
- $no$  = Número de nodos con cabeza fija.
- $ne$  = Número de tuberías con flujo desconocido.
- Matriz de conectividad, asociada a cada uno de los nodos de la red.

$$[A_{12}(i, j)] = \begin{cases} -1 & \text{nodo inicial (i) de la tubería} \\ 0 & \text{Si no hay conexión} \\ 1 & \text{nodo final (j) de la tubería} \end{cases}$$

- " $Q_i$ "; es el caudal( $m^3/s$ )
- El coeficiente " $C_i$ " depende del material de fabricación de la tubería, entre más lisa sea, el coeficiente será mayor.
- " $D_i$ "; es el diámetro interior( $m$ )
- " $L_i$ "; es la longitud de la tubería( $m$ )

Del cual se tiene el cumplimiento simultáneo del equilibrio nodal(Ecu.4.2) y la relación pérdida-flujo(Ecu.4.3) de la cabeza fija. Ambas condiciones se pueden expresar con la ecuación Ecu.4.5.

$$\begin{vmatrix} [A11] & [A12] \\ [A21] & [0] \end{vmatrix} \begin{vmatrix} [Q] \\ [H] \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -[A10] [H_0] \\ [q] \end{vmatrix} \quad (4.5)$$

Donde:

- $[A_{11}]$ : Matriz(ne,ne) dependiente de la relación de pérdida-flujo de la cabeza.

$$A_{11} = \begin{vmatrix} K_1 [Q_1]^m & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & K_2 [Q_2]^m & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & K_3 [Q_3]^m \end{vmatrix}$$

- $[A_{12}]$ : Matriz topológica(ne,ne).
- $[A_{21}] = [A_{12}]^T$
- $[A_{10}][h_0]$ : Vector conocido(ne,1).

Obteniendo las ecuaciones iterativas:

- Para la iteración de las Cargas.

$$[h_a]^{k'+1} = -([A_{21}][N]^{-1}[A_{11}]^{-1}[A_{12}])^{-1} \quad (4.6)$$

$$[h_b]^{k'+1} = [A_{12}][N]^{-1}([Q]^{k'} + [A_{11}]^{-1}[A_{10}][h_0]) + ([q] - [A_{21}]Q^{k'}) \quad (4.7)$$

$$[h]^{k'+1} = [h_a]^{k'+1}[h_b]^{k'+1} \quad (4.8)$$

- Para la iteración de los Caudales.

$$[Q]^{k'+1} = (I - [N]^{-1})Q^{k'} - [N]^{-1}[A_{11}]^{-1}([A_{12}][h]^{k'+1} + [A_{10}][h_0]) \quad (4.9)$$

## 4.2. Diagrama de flujo.

En la fig.4.1. Mostramos un Diagrama de Flujo representando los procesos y pasos a seguir para lograr el fin deseado, el cual es llegar a obtener el diseño de la red económica. Iremos definiendo en forma consecutiva, la manera de como se van a implementar en el proceso de calculo. La RED DE ASPEROVITS Y SHAMIR sera tomada como ejemplo.

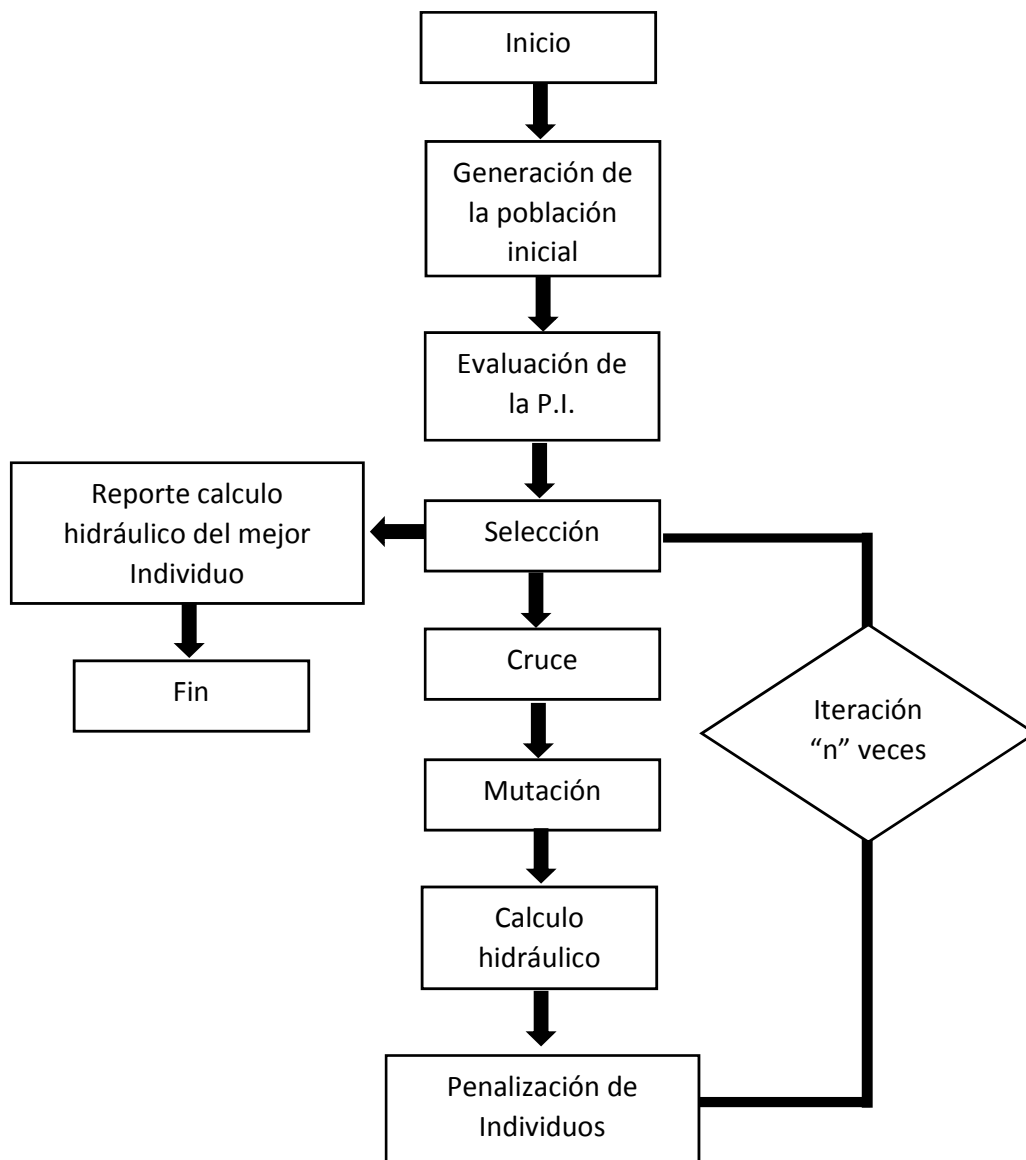


Figura 4.1: DIAGRAMA DE FLUJO.



# Capítulo 5

## Procedimiento de Cálculo del Problema Teórico

### 5.0.1. Datos del Problema Red de ASPEROVITS Y SHAMIR.

- Datos Generales.

Cuadro 5.1: Datos del problema.

---

Numero de Reservorios	:	01
Numero de Nodos	:	06
Numero de Tuberías	:	08
Numero de Tuberías Comerciales	:	14
Perdida de carga	:	Hazen Williams
C	:	130
Presión mínima(mH <sub>2</sub> O)	:	30
Clases de tuberías a considerar	:	01
Numero de Generación de Pob. Ini.( $> 2$ )	:	2
Velocidad Mínima(m/s)	:	0.60
Velocidad Máxima(m/s)	:	3.60
Probabilidad de Mutación (%)	:	2
Numero de Iteraciones	:	35

---

Fuente: Obtenido de la referencia

[L. I. Rey, F. J. Martínez Solano, V.S. Fuertes Miquel, R. P. García, 2004, p.08]

■ Datos de las Tuberías.

Cuadro 5.2: Datos De Las Tuberías.

#Tubería	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	KM
1	1	2	1000	0
2	2	3	1000	0
3	2	4	1000	0
4	4	5	1000	0
5	4	6	1000	0
6	6	7	1000	0
7	3	5	1000	0
8	5	7	1000	0

Fuente: Obtenido de la referencia

[L. I. Rey, F. J. Martínez Solano, V.S. Fuertes Miquel, R. P. García, 2004, p.08]

■ Datos de los Nodos.

Cuadro 5.3: Datos De Los Nudos

NUDO#	X	Y	Cota(msnm)	Q(lps)	Asignacion	DESCRIP.
1	2,000.00	2,000.00	210	0	1	RESERVOIRS
2	1,000.00	2,000.00	150	27.778	0	Nudo
3	0.00	2,000.00	160	27.778	0	Nudo
4	1,000.00	1,000.00	155	33.333	0	Nudo
5	0.00	1,000.00	150	75.000	0	Nudo
6	1,000.00	0.00	165	91.667	0	Nudo
7	0.00	0.00	160	55.556	0	Nudo

Fuente: Obtenido de la referencia

[L. I. Rey, F. J. Martínez Solano, V.S. Fuertes Miquel, R. P. García, 2004, p.08]

▪ Datos de los Tubos Comerciales.

Cuadro 5.4: Datos de los Tubos Comerciales.

Nº	D(plg)	DIAMETRO(mm)	COSTOum/m
1	1.0	25.400	2
2	2.0	50.800	5
3	3.0	76.200	8
4	4.0	101.600	11
5	6.0	152.400	16
6	8.0	203.200	23
7	10.0	254.000	32
8	12.0	304.800	50
9	14.0	355.600	60
10	16.0	406.400	90
11	18.0	457.200	130
12	20.0	508.000	170
13	22.0	558.800	300
14	24.0	609.600	550

Fuente: Obtenido de la referencia

[L. I. Rey, F. J. Martínez Solano, V.S. Fuertes Miquel, R. P. García, 2004, p.08]

### 5.0.2. Generación de la Población Inicial.

Para la Generación de la población inicial procedemos de la siguiente manera:

1. .- Seleccionamos el mayor diámetro y asignamos a toda la red este valor(D en mm).

$$[D] = \begin{array}{|c} 609,6 \\ 609,6 \\ 609,6 \\ 609,6 \\ 609,6 \\ 609,6 \\ 609,6 \\ 609,6 \\ 609,6 \end{array}$$

2. .- Empleamos la Ecuación del Gradiente Hidráulico (Ec. 2.16 y Ec. 2.17), para una sola iteración. La finalidad es compensar los caudales de la red(Q en m<sup>3</sup>).

$$[Q] = \begin{array}{|c} 0,3111 \\ 0,1170 \\ 0,1663 \\ 0,0400 \\ 0,0930 \\ 0,0013 \\ 0,0893 \\ 0,0543 \end{array}$$

3. .- Calculamos Diámetros teóricos(D en m). Empleando los caudales del Item 2 y la velocidad media entre Velocidad Mínima y Velocidad Máxima.

$$[D] = \begin{array}{|c} 0,4343 \\ 0,2664 \\ 0,3175 \\ 0,1557 \\ 0,2374 \\ 0,0280 \\ 0,2326 \\ 0,1814 \end{array}$$

4. .- Con los Diámetros teóricos del Item 3 Calculamos los caudales de la red, aplicando la ecuación del G.H. Esta vez con el numero de iteraciones igual al numero de tuberías (ne). Este caudal calculo es mas compacto por que cuenta con las iteraciones q se recomienda(Q en m3).

$$[Q] = \begin{array}{|c} 0,3111 \\ 0,1214 \\ 0,1619 \\ 0,0365 \\ 0,0921 \\ 0,0005 \\ 0,0936 \\ 0,0551 \end{array}$$

5. .- Con las velocidades maxima y minima procedemos a calcular los diámetros teóricos respectivos de la red.

$$[D1_{V=0,6}] = \begin{array}{|c} 812,53 \\ 507,59 \\ 586,17 \\ 278,13 \\ 442,16 \\ 31,38 \\ 445,76 \\ 341,92 \end{array} \quad [D2_{V=3,6}] = \begin{array}{|c} 331,71 \\ 207,22 \\ 239,30 \\ 113,55 \\ 180,51 \\ 12,81 \\ 181,98 \\ 139,59 \end{array}$$

6. .- Procedemos a la asignación de diámetros comerciales.

$$[D1_{V=0,6}] = \begin{array}{|c} 609,6 \\ 508 \\ 609,6 \\ 304,8 \\ 457,2 \\ 50,8 \\ 457,2 \\ 355,6 \end{array} \qquad [D2_{V=3,6}] = \begin{array}{|c} 355,6 \\ 254 \\ 254 \\ 152,4 \\ 203,2 \\ 25,4 \\ 203,2 \\ 152,4 \end{array}$$

Con este procedimiento logramos la obtención de nuestra población inicial que consta de dos individuos.

### 5.0.3. Evaluación de la Población Inicial.

Hacemos el calculo completo de la red para cada caso. Para lo cual presentamos en el entorno Epanet. Como resumen podemos mostrar dicho resultado en el cuadro 5.5.

Cuadro 5.5: Resumen de resultados población inicial.

N°	Presión(mH2O)	Velocidad mínima(m/s)	Velocidad máxima(m/s)	Costo
1	42.13	0.183	1.066	1645000
2	-90.59	0.866	3.171	204000

Fuente: Elaboración Propia

- Para  $[D1_{V=0,6m/s}]$

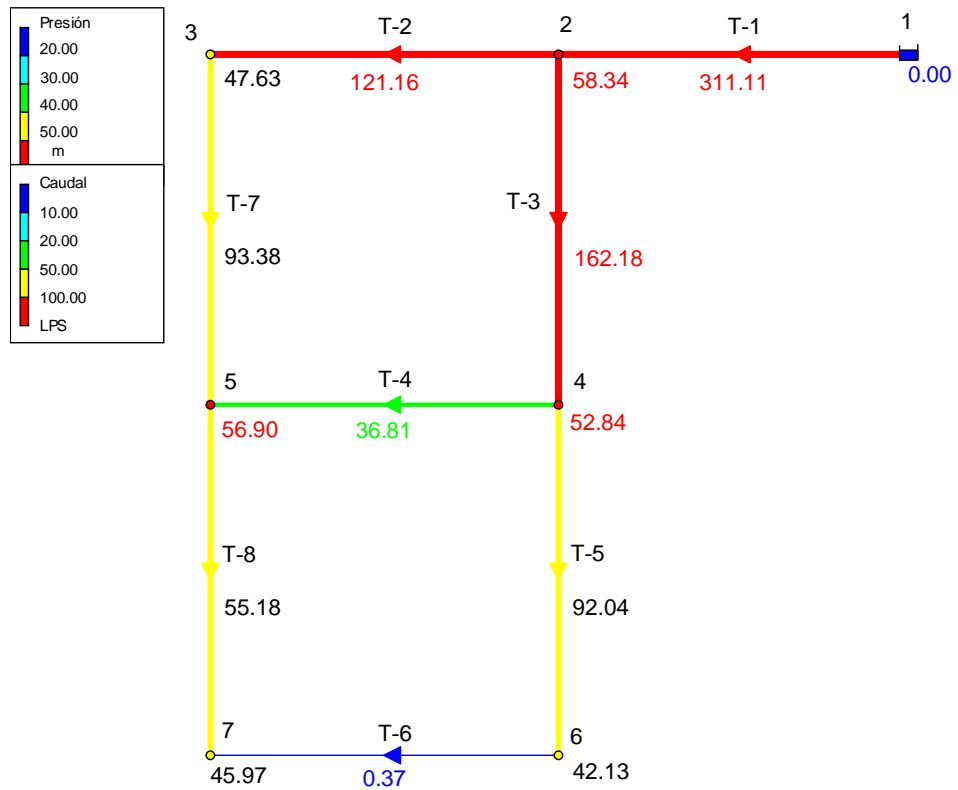


Figura 5.1: Red hidráulica, con presión y caudales, para [D1].

- Para  $[D2_{V=3,6m/s}]$

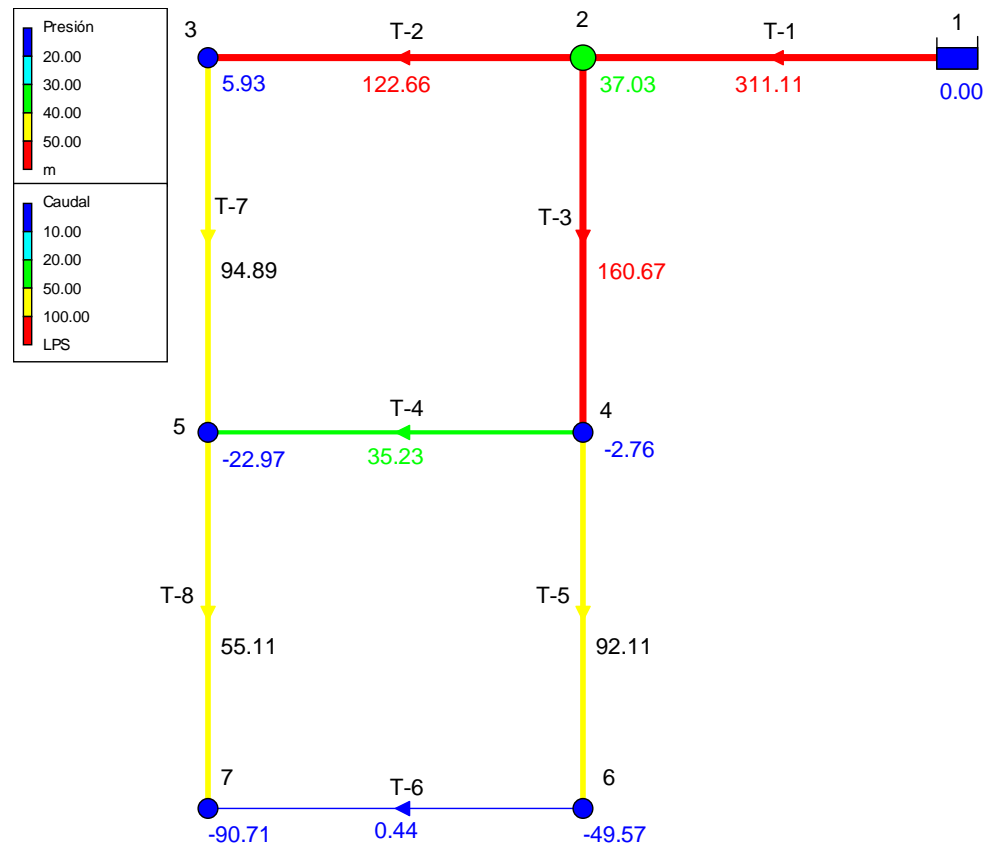


Figura 5.2: Red hidráulica, con presión y caudales, para [D2].



### 5.0.4. Selección.

La selección a efectuar es de tipo estilista, esto significa que el individuo q seleccionemos es el mas cercano a las condiciones de evaluación de la función objetivo. El cuadro 5.5 muestra dos individuos para esta primera iteración el primero sera seleccionado por tener mejor aptitudes(X), la selección se desarrollara de la misma manera en las otras iteraciones, la relación de individuos ira creciendo según se dean mas iteraciones. El resto de los individuos serán considerados(Y). El cruce se efectuara entre un "X" y todas las "Y".

Cuadro 5.6: Mejor Individuo de la población inicial.

N°	Presión(mH2O)	Velocidad mínima(m/s)	Velocidad maxima(m/s)	Costo
1	42.13	0.183	1.066	1645000

### 5.0.5. Codificación Binaria.

Primero hacemos la numeración de las tuberías comerciales que van a participar tenemos del 1 – 14 le restamos una unidad y tenemos del 0 – 13. Por tanto tendríamos que la tubería de "25mm" esta representado por el numero "0" y así el resto de las tuberías.

Los individuos "X" y "Y", codificados serán:

$$[X] = \begin{array}{c|c|c|c|c}
 609,6 & 13 & 1 & 1 & 0 & 1 \\
 508 & 11 & 1 & 0 & 1 & 1 \\
 609,6 & 13 & 1 & 1 & 0 & 1 \\
 304,8 & 7 & 0 & 1 & 1 & 1 \\
 457,2 & 10 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 50,8 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 457,2 & 10 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 355,6 & 8 & 1 & 0 & 0 & 0
 \end{array}$$

Cuadro 5.7: Datos de los Tubos Comerciales.

N°TC	N°TC-1	DIAMETRO(mm)	COSTOum/m
1	0	25.400	2
2	1	50.800	5
3	2	76.200	8
4	3	101.600	11
5	4	152.400	16
6	5	203.200	23
7	6	254.000	32
8	7	304.800	50
9	8	355.600	60
10	9	406.400	90
11	10	457.200	130
12	11	508.000	170
13	12	558.800	300
14	13	609.600	550

Fuente: Elaboración Propia

$$[Y] = \begin{vmatrix} 355,6 \\ 254 \\ 254 \\ 152,4 \\ 203,2 \\ 25,4 \\ 203,2 \\ 152,4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 8 \\ 6 \\ 6 \\ 4 \\ 5 \\ 0 \\ 5 \\ 4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

### 5.0.6. Cruce.

El tipo de cruce que empleamos es de tipo "Cruce Uniforme", para lo cual generamos una base aleatoria  $[NA]$ , donde el "0" indica que se tomara el "Gen" del individuo  $[X]$  y el "1" del  $[Y]$ .

$$[NA] = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccc} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right| \end{array}$$

Del cual se genera el siguiente individuo.

$$[Hj] = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccc} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right| = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} 12 \\ 3 \\ 15 \\ 5 \\ 12 \\ 0 \\ 14 \\ 8 \end{array} \right| \end{array}$$

### 5.0.7. Mutación.

La mutación opera con el porcentaje probable a mutar, y se da en todos los individuos que se engendra. Para este caso el "Gen" de la posición (4, 3) fue alterada, esta alteración modifico el código del diámetro en dicha tubería de un valor de 5 a 7.

$$[Hjm] = \begin{array}{c|c|c|c} \begin{array}{cccc} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} & \begin{array}{c} | \\ | \\ | \\ | \\ | \\ | \\ | \\ | \end{array} & \begin{array}{c} 12 \\ 3 \\ 15 \\ 7 \\ 12 \\ 0 \\ 14 \\ 8 \end{array} & \begin{array}{c} | \\ | \\ | \\ | \\ | \\ | \\ | \\ | \end{array} \begin{array}{c} 558,8 \\ 101,6 \\ 609,6 \\ 304,8 \\ 558,8 \\ 25,4 \\ 609,6 \\ 355,6 \end{array} \\ \hline = & = & = & \end{array}$$

### 5.0.8. Calculo Hidráulico.

Haciendo una observación verificamos que el costo del descendiente  $[H_j]$  es mayor al costo del padre  $[X]$ , por tal motivo en la selección de la siguiente generación sera parte de la población tipo  $[Y]$ .

Cuadro 5.8: Mejor Individuo de la población inicial.

N°	Presión(mH2O)	Velocidad minima(m/s)	Velocidad maxima(m/s)	Costo
[X]	42.13	0.183	1.066	1645000
[Y]	-90.59	0.866	3.171	204000
[Hj]	32.71	0.065	2.047	1823000

Fuente: Elaboración Propia

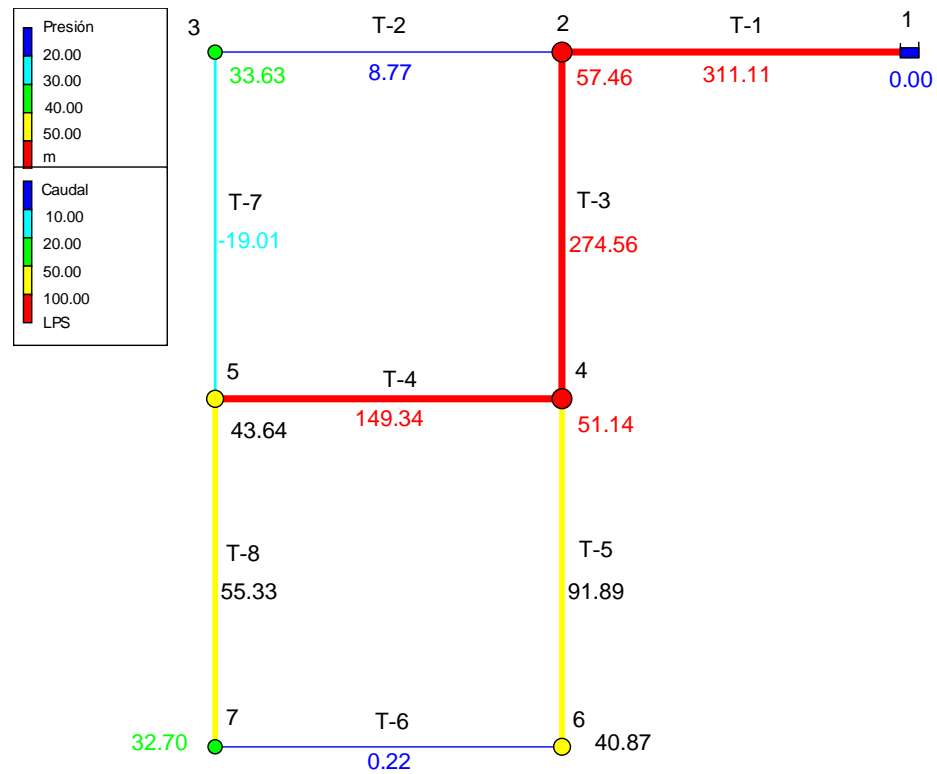


Figura 5.3: Red hidráulica, con presión y caudales, para [D2].

### 5.0.9. Penalización de Individuos.

La penalización se efectuara en individuos cuya presión minima sea inferior a la presión minima del individuo  $[Y]$  de la población inicial.

### 5.0.10. Proceso de Iteración.

El proceso de iteración se desarrolla aplicando los mismos pasos antes mencionado, este a medida que se dean mas iteraciones la población va creciendo significativamente. En este problema y con las 35 iteraciones que se desarrollaron se tiene una población de 44276 individuos. En la Tabla 5.9 se tiene el resumen de resultados de los mejores individuos.

Cuadro 5.9: Resumen de resultados de las Iteraciones.

N° Iter.	Presión(mH2O)	Vel.(m/s)	Vel. maxima(m/s)	Costo
1	42.131	0.183	1.066	1,645,000
5	42.131	0.183	1.066	1,645,000
10	42.131	0.183	1.066	1,645,000
15	37.057	0.548	1.739	1,376,000
20	37.912	0.169	1.146	1,035,000
25	37.411	0.213	1.269	803,000
30	31.352	0.457	1.792	496,000
36	31.352	0.457	1.792	496,000

Fuente: Elaboración Propia

En La Figura 5.4. Mostramos la gráfica de como se va efectuando la convergencia de la solución mas optima.

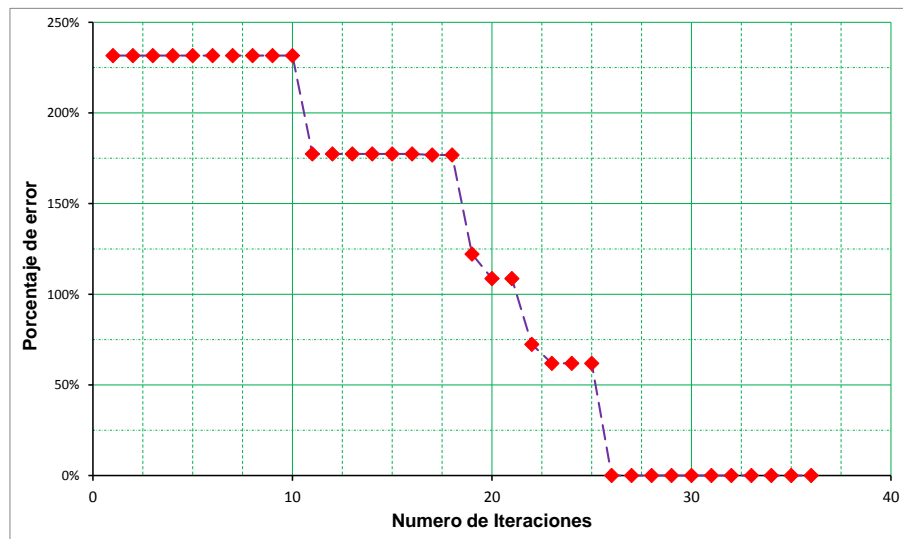


Figura 5.4: Numero de iteraciones Vs % Error.

### 5.0.11. Reporte calculo hidráulico del mejor individuo.

El reporte de la Tabla 5.10. Es el resultado de la aplicación desarrollada en el "Matlab", también mostramos la Figura 5.5, que es el resultado en el programa "Epanet" ambos resultados difieren minimamente.

Cuadro 5.10: Resultados del calculo hidráulico.

En Tuberías.				En Nodos.	
N° Tub.	D(mm)	Q(LPS)	Vel.(m/s)	N° Nod	Pres.(mH2O)
1	508	311.11	1.53	1	0
2	203.2	50.91	1.57	2	55.96
3	406.4	232.42	1.79	3	33.69
4	304.8	102.68	1.41	4	43.97
5	355.6	96.41	0.97	5	42.73
6	101.6	4.74	0.58	6	31.35
7	254	23.13	0.46	7	31.93
8	355.6	50.81	0.51		

Fuente: Elaboración Propia

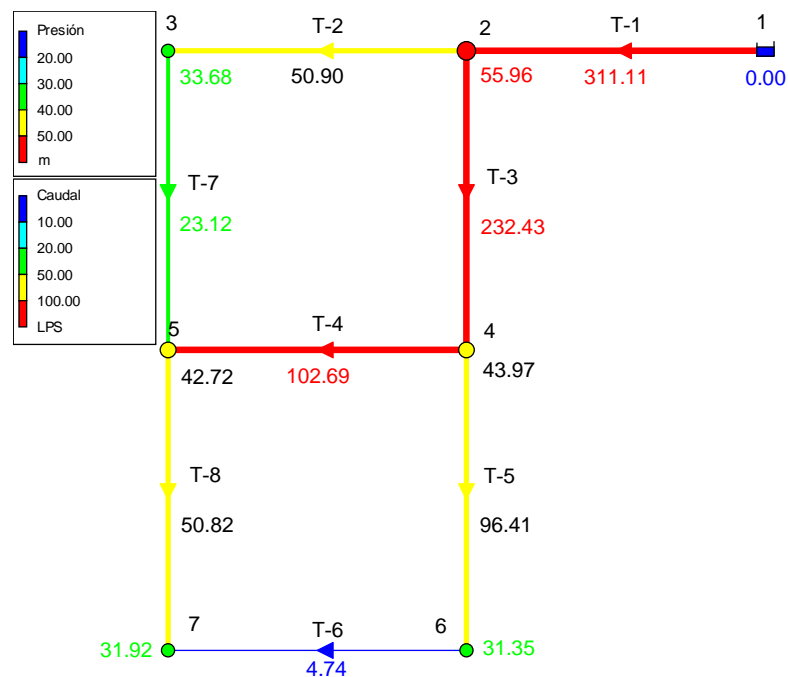


Figura 5.5: Resultado de Calculo "Epanet".

# Capítulo 6

## Resultados Red Mollepata

### 6.1. Problema de Aplicación Real, Red Mollepata.

Para el proceso de cálculo de la Red Mollepata se emplearan los siguientes datos:

Cuadro 6.1: Datos del problema Red Mollepata.

---

Numero de Reservorios	:	01
Numero de Nudos	:	214
Numero de Tuberías	:	244
Numero de cámaras controladoras de presión	:	05
Numero de Tuberías Comerciales	:	08
Perdida de carga	:	Hazen Williams
C	:	130
Presión minima(mH <sub>2</sub> O)	:	10
Clases de tuberías a considerar	:	03
Numero de Generación de Pob. Ini.( $> 2$ )	:	2
Velocidad Minima(m/s)	:	0.60
Velocidad Máxima(m/s)	:	2.10
Probabilidad de Mutación (%)	:	2
Numero de Iteraciones	:	50

---

Fuente: Elaboración Propia



Los datos de las Tuberías, se presentan en el Anexo A, datos de los Nudos en el Anexo B. Los datos de las tuberías comerciales se muestra en la tabla 6.2. Los datos de las Válvulas se muestra en la tabla 6.3.

Cuadro 6.2: Datos De Las Tuberías Comerciales.

N°	DN(mm)	Clase 7,5		Clase 10		Clase 15	
		D(mm)	C(S/.)/ml	D(mm)	C(S/.)/ml	D(mm)	C(S/.)/ml
1	63	58.4	5.94	57	7.63	54.2	8.94
2	75	69.4	8.58	67.8	10.87	64.4	15.54
3	90	83.4	12.11	81.4	15.54	77.4	22.14
4	110	102	17.91	99.4	23.36	94.6	33.04
5	140	129.8	28.98	126.6	37.52	120.4	53.46
6	160	148.4	37.64	144.6	49.23	137.6	69.78
7	200	185.4	59.1	180.8	76.64	172	108.95
8	250	231.8	91.97	226.2	118.69	215	170.11

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 6.3: Datos de las Válvulas.

ID línea	NudoAgArr	NudoAgAbj	CLASE	Tipo	Consigna
6	6	7	15	PRV	10
11	11	12	15	PRV	10
16	16	17	10	PRV	10
22	134	137	7.5	PRV	20
42	41	45	7.5	PRV	15

Fuente: Elaboración Propia

### 6.1.1. Generación y evaluación de la Población inicial.

Generando los individuos de la población inicial.

Cuadro 6.4: Resumen de resultados población inicial.

N°	Presión(mH2O)	Velocidad mínima(m/s)	Velocidad máxima(m/s)	Costo (S/.)
1	10.000	0.01	1.56	474,541.35
2	-26.36	0.01	2.68	214,971.53

Fuente: Elaboración Propia

- Para  $[D1_{V=0,6m/s}]$

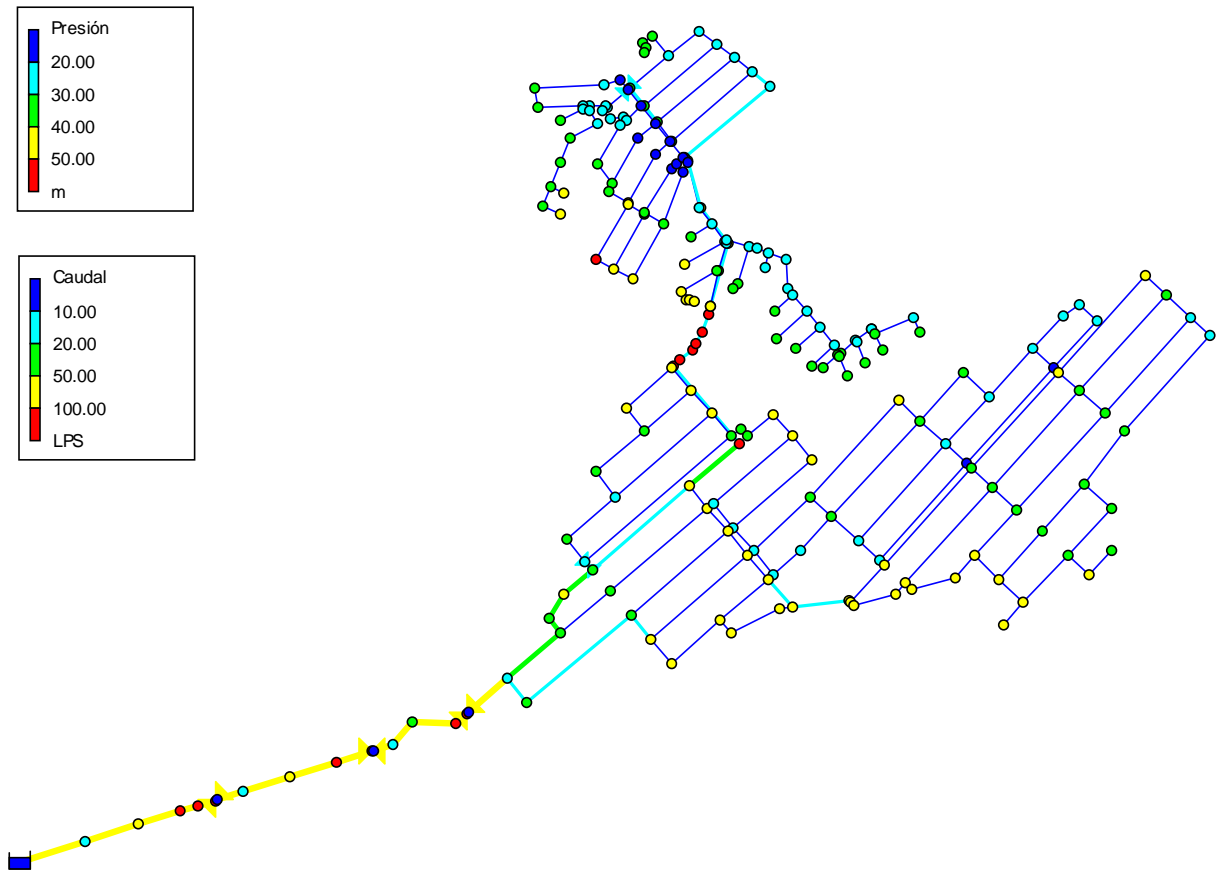


Figura 6.1: Red hidráulica, con presión y caudales, para [D1].

■ Para  $[D2_{V=2,1m/s}]$

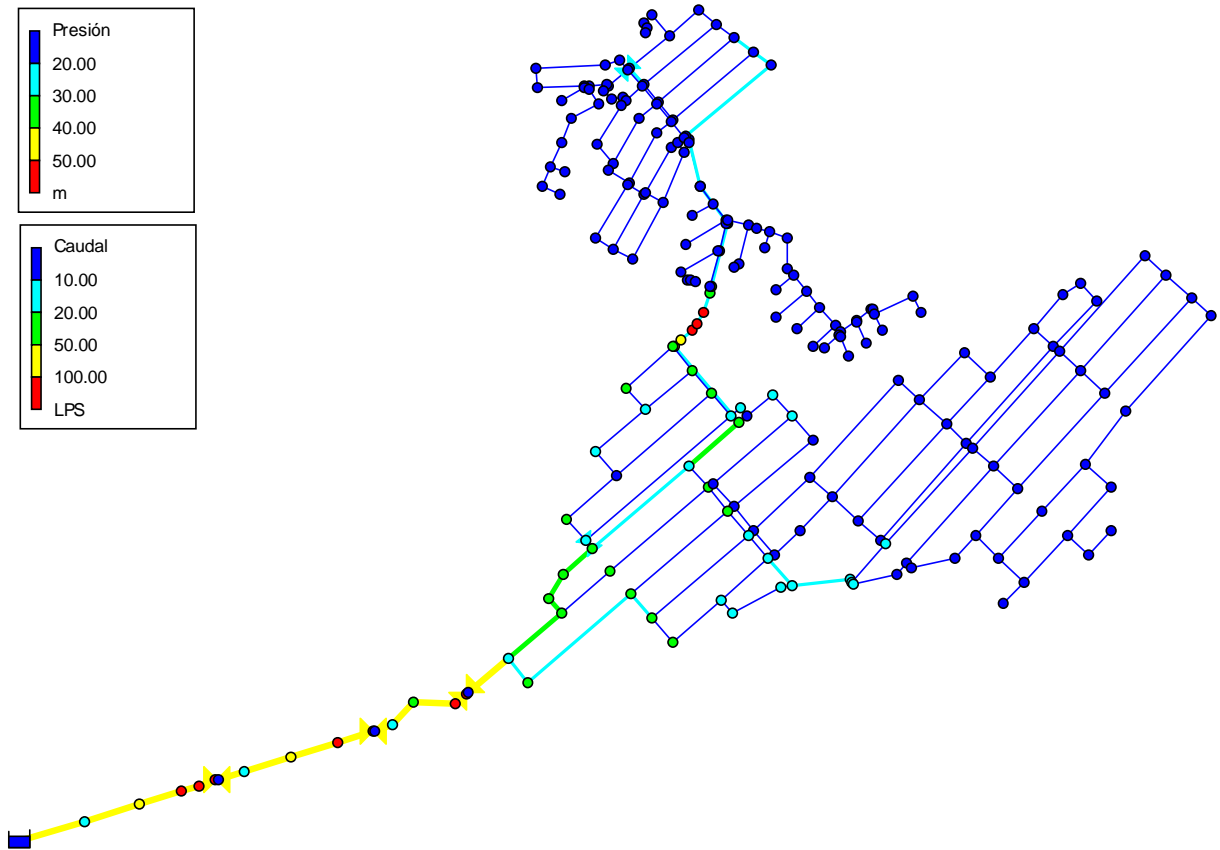


Figura 6.2: Red hidráulica, con presión y caudales, para [D2].

El empleo de los operadores genéticos, se efectuaron del mismo modo que el problema de la RED DE ASPEROVITS Y SHAMIR.

### 6.1.2. Proceso de Iteración.

De acuerdo a la figura 6.3, podemos observar que se da la caída de solución óptima.

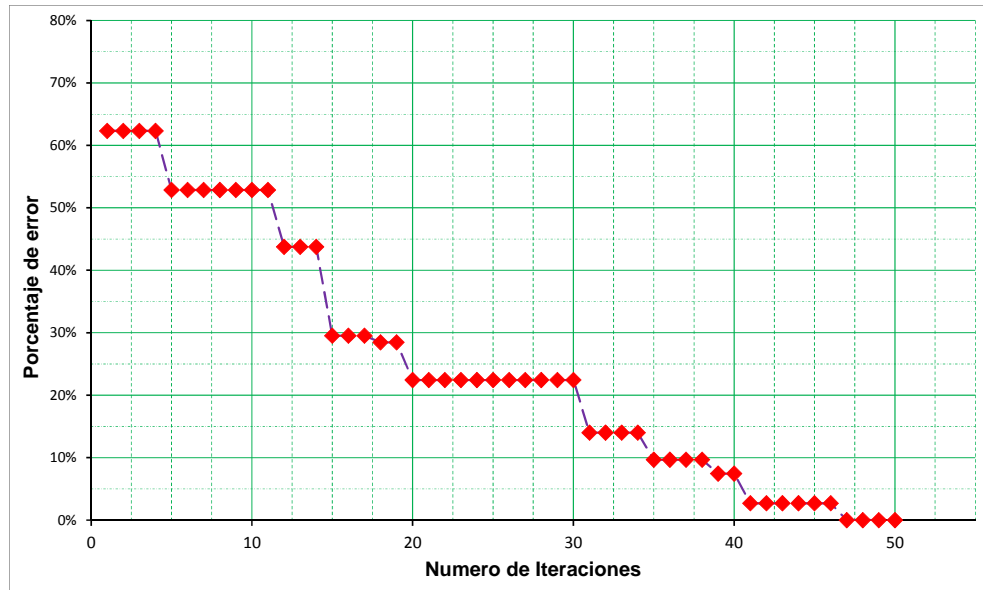


Figura 6.3: Numero de iteraciones Vs % Error.

Finalmente la solución para este caso queda representado por las figura 6.4, este a su vez tiene como resumen de cálculos:

Cuadro 6.5: Resumen de resultados mejor individuo.

N°	Presión(mH2O)	Velocidad mínima(m/s)	Velocidad máxima(m/s)	Costo (S/.)
1	10.00	0.01	2.43	289,143.23

Fuente: Elaboración Propia

### 6.1.3. Reporte calculo hidráulico del mejor individuo.

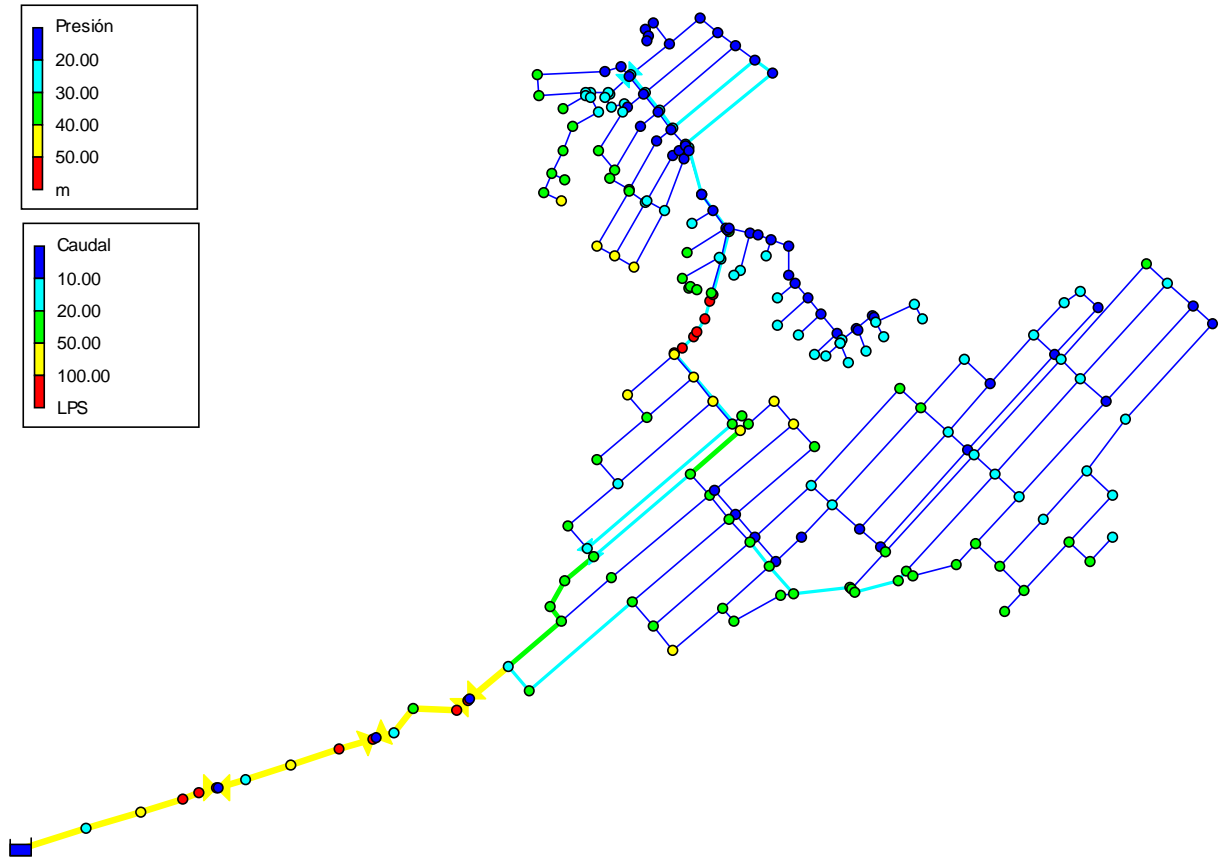


Figura 6.4: Red hidráulica, con presión y caudales, para el mejor resultado.

## Capítulo 7

# Comparación de Resultados del Problema de Aplicación Teorico.

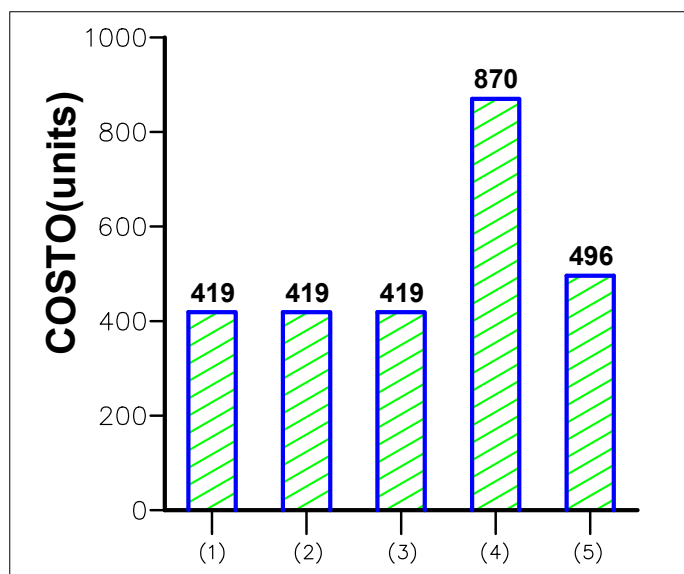


Figura 7.1: Costos obtenidos por diferentes autores.

- (1) Resultados obtenidos por Savic y Waters (1997) mediante algoritmos genéticos.
- (2) Resultados de Cunha y Sousa (1999) mediante una técnica heurística de recocido simulado.
- (3) Resultados obtenidos con el APG propuesto sin considerar la fiabilidad del sistema.
- (4) Resultados obtenidos con el APG considerando la fiabilidad del sistema.
- (5) Resultados obtenidos con la formulación de la tesis UNSCH.

En la tabla 7.1. Se muestra los resultados de diseño de tuberías y sus respectivos costos de todo el sistema, obtenidos por diferentes autores.

Cuadro 7.1: Cuadro comparativo de diseños obtenidos por diferentes autores.

Pipe No.	Algorithm				
	Savic y Walt.(1)	Cunha y Sousa(2)	APG(3)	APG Fiab(4)	Tesis UNSCH
1	457.2	457.2	457.2	508	508
2	254	254	254	508	203.2
3	406.4	406.4	406.4	457.2	406.4
4	101.6	101.6	101.6	406.4	304.8
5	406.4	406.4	406.4	355.6	355.6
6	254	254	254	355.6	101.6
7	254	254	254	457.2	254
8	25.4	25.4	25.4	355.6	355.6
Cost (units)	419	419	419	870	496

Fuente: Obtenido de la referencia

[L. I. Rey, F. J. Martínez Solano, V.S. Fuertes Miquel, R. P. García, 2004, p.08]

Con este reporte podemos observar que el costo obtenido con la formulación de la tesis y los mejores resultados hay una diferencia de 18%. Cave aclarar que el resultado se obtuvo en un tiempo de iteración de 2 minutos.

# Capítulo 8

## Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

1. Efectivamente empleando conceptos de modelo Metaheurístico de los Algoritmos Genéticos y la formulación de cálculo hidráulico con la técnica del Gradiente hidráulico se logra construir un modelo capaz de encontrar diseños óptimos (Económico-Técnico) de la red de abastecimiento de agua potable, cumpliendo los parámetros técnicos que la Norma Técnica Peruana estipula.
2. La técnica de optimización de los A.G. ofrece variedad de manera de ser empleado. De acuerdo a la naturaleza del problema se determina la elección de los operadores. En nuestro caso se logró emplear con éxito llegando a converger los resultados.
3. El Gradiente Hidráulico, es una poderosa herramienta de cálculo hidráulico. En un primer momento acondicionando esta fórmula nos permite encontrar dos individuos representativos (Progenitores), para después efectuar los cálculos de cada individuo.
4. Las Ecuaciones de pérdida de "Hazen – Williams" y "Darcy – Weisbach" emplean distintos parámetros a considerar, por tanto al ser acondicionados en la formulación del G.H. arrojan una diferencia en el resultado, esto se puede apreciar en el Anexo D, para



la optimización mediante A.G. es mas efectivo la ecuación de "Hazen – Williams" por tener menos operaciones.

5. La inteligencia Artificial es un campo que brindara mejores soluciones a los problemas de la ingeniería. Como podemos notar el A.G. como herramienta de optimización se adapta de manera adecuada a encontrar la mejor solución, y no solo genera una solución, si no una variedad de opciones que el diseñador puede optar.
6. Se debe incluir esta Herramienta de diseño en Redes de abastecimiento de agua potable en la Norma Técnica Peruana, ya que el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento anualmente hace inversiones considerables.

## Recomendaciones

1. Es recomendable usar bajos porcentajes de probabilidad en la mutación  $< 5\%$ . Esto debido a que al emplear porcentajes mayores deja de tener valor los operadores genético y mas bien se vuelve en un método de busca de tipo aleatorio.
2. La codificación binaria de los individuos es recomendable ya que al emplear el operador de la mutación es sensilla hacer el cambio del gen de  $0a1$  o  $1a0$ , algo que no se puede lograr con facilidad con la codificación de numeros enteros o cadena de palabras.
3. Se recomienda usar la ecuación de "Hazen – Williams" en el proceso de optimización esto por poseer menos operaciones, luego verificar con la ecuación de "Darcy – Weisbach" el resultado optimizado, esto para su respectiva validación.

# Bibliografía

- [Ahmed, Iftekhar, 1997] Ahmed, Iftekhar (1997). *Application Of The Gradient Method For The Analysis Of Unsteady Flow In Water Networks*. Master of Science-The University of Arizona.
- [A.M.F. Universidad de Oviedo, sf] A.M.F. Universidad de Oviedo (s.f.). Perdidas de carga en tuberías. *Area de Mecánica de Fluidos Prácticas de laboratorio*, page p.p. 10.
- [Arturo Rocha Felices, sf] Arturo Rocha Felices (s.f.). *Hidráulica de tuberías y Canales*.
- [Ch.Andrew, F.Peter, P.Hartmut, F.Carlos, sf] Ch.Andrew, F.Peter, P.Hartmut, F.Carlos (s.f.). *Genetic Algorithm TOOLBOX*. Department of UNIVERSITY of SHEFFIELD.
- [David A Coley, 1999] David A Coley (1999). *An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers*. World Scientific.
- [Diario La Republica, 2015] Diario La Republica (22 de Amarzo de 2015). Dia mundial del agua. <http://larepublica.pe>.
- [EPANET 2, 2002] EPANET 2 (2002). *Manul de usuario*. Grupo REDHISP.
- [G.S.José, M.Julien, 2012] G.S.José, M.Julien (2012). *Modelos y Métodos de Investigación de Operaciones*. Grupo de Investigación ROGLE.

- [H.Frederick, L.Gerald, 2010] H.Frederick, L.Gerald (2010). *INTRODUCCION A LA INVESTIGACION DE OPERACIONES*. Mc Graw Hill, 9na. edition.
- [H.Iba, T.K.Paul, Y.Hasegawa, 2010] H.Iba, T.K.Paul, Y.Hasegawa (2010). *Applied Genetic Programming and Machine Learning*. CRC Press Taylor and Francis Group.
- [John R. Koza, 1994] John R. Koza (1994). *Genetic Programming II*. The MIT Press.
- [Juan Saldarriaga, 2007] Juan Saldarriaga (2007). *Hidráulica de Tuberías*. Alfaomega Colombia S.A.
- [L. I. Rey, F. J. Martínez Solano, V.S. Fuertes Miquel, R. P. García, 2004] L. I. Rey, F. J. Martínez Solano, V.S. Fuertes Miquel, R. P. García (noviembre de 2004). ALGORITMO GENÉTICO MODIFICADO PARA DISEÑO DE REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA. *Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água João Pessoa (Brasil)*, page p.p. 19.
- [Marcos G., Daniel R., Juan R., Julián D., Alejandro P., 2010] Marcos G., Daniel R., Juan R., Julián D., Alejandro P. (2010). *Introducción a los algoritmos Genéticos y la programación Genética*. Universidad de Oruña Servicio de Publicaciones.
- [Mitchell Melanie, 1999] Mitchell Melanie (1999). *An Introduction to Genetic Algorithms*. A Bradford Book The MIT Press.
- [M.María, B.G.Juan, S.G.Juan, sf] M.María, B.G.Juan, S.G.Juan (s.f.). Algoritmos genéticos. un ejemplo con hoja de cálculo. *XVIII Jornadas ASEPUMA VI Encuentro Internacional*, page p.p. 12.

- [Norberto H.R., 2012] Norberto H.R., J. M. y. J. C. (2012). *Introducción a Matlab para Resolver Problemas de Ingeniería Aplicando Algoritmos Genéticos*. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería (ICBI).
- [NORMAS LEGALES, 2006] NORMAS LEGALES (23-mayo, 2006). Redes de distribución de agua para consumo humano. *NORMAS LEGALES OS.050*, page p.p. 4.
- [Randy L. H., Sue E. H., 2004] Randy L. H., Sue E. H. (2004). *Practical Genetic Algorithms*. Wiley-Interscience, 2da. edition.
- [Robert L. Mott, 2006] Robert L. Mott (2006). *Mecánica de Fluidos*. Pearson Educación, 6ta. edition.
- [Shoichiro Nakamura, 1992] Shoichiro Nakamura (1992). *MÉTODOS NUMÉRICOS APLICADOS CON SOFTWARE*. PERSON, 1ra. edition.
- [S.N.Sivanandam S.N.Deepa, 2008] S.N.Sivanandam S.N.Deepa (2008). *Introduction to Genetic Algorithms*. Springer.
- [Zbigniew Michalewicz, 1992] Zbigniew Michalewicz (1992). *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Springer.

# Apéndice A

## Datos De Las Tuberías Mollepata

Cuadro A.1: Datos De Las Tuberías.

#Tubería	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	KM	CLASE
1	1	2	117.70	0	7.5
2	2	3	96.90	0	7.5
3	3	4	74.93	0	10
4	4	5	30.45	0	15
5	5	6	30.56	0	15
7	7	8	46.95	0	7.5
8	8	9	82.43	0	7.5
9	9	10	84.35	0	10
10	10	11	61.97	0	15
12	12	13	33.33	0	7.5
13	13	14	51.44	0	7.5
14	14	15	73.32	0	10
15	15	16	25.37	0	10
17	17	18	86.80	0	7.5
18	18	19	119.30	0	7.5
19	19	136	32.02	0	7.5
20	136	135	48.87	0	7.5
21	135	134	64.93	0	7.5
23	134	22	217.00	0	7.5
24	22	23	112.16	0	10
25	23	24	172.30	0	10
26	24	25	14.87	0	15
27	25	26	27.24	0	15
28	26	27	11.83	0	15
29	27	28	23.19	0	15

Cuadro A.2: Datos De Las Tuberías.

#Tubería	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	KM	CLASE
30	28	29	32.86	0	15
31	29	30	12.71	0	10
32	30	31	110.70	0	10
33	31	32	77.66	0	7.5
34	33	34	7.96	0	7.5
35	34	35	189.37	0	7.5
36	35	36	36.33	0	7.5
37	36	37	39.60	0	7.5
38	37	38	38.45	0	7.5
39	38	39	38.26	0	7.5
40	39	40	65.31	0	7.5
41	40	41	85.30	0	7.5
43	174	175	54.15	0	7.5
44	175	179	110.40	0	7.5
45	197	206	220.30	0	7.5
46	155	156	221.80	0	7.5
47	156	160	53.72	0	7.5
48	206	210	218.70	0	7.5
49	142	143	109.70	0	7.5
50	143	144	104.70	0	7.5
51	210	211	44.65	0	7.5
52	184	185	6.83	0	7.5
53	195	196	47.98	0	7.5
54	196	197	56.47	0	7.5
55	185	186	74.91	0	7.5
56	178	182	62.26	0	7.5
58	186	188	23.68	0	7.5
59	60	61	35.83	0	7.5
60	70	74	14.76	0	7.5
61	182	183	97.59	0	7.5
62	19	20	110.90	0	7.5
63	183	184	4.20	0	7.5
64	20	21	217.10	0	7.5
65	89	85	11.84	0	7.5
66	72	77	38.87	0	7.5
67	184	187	85.31	0	7.5
68	22	21	48.35	0	7.5
69	165	170	45.93	0	7.5
70	189	190	76.87	0	7.5
71	187	195	221.30	0	7.5
72	194	193	50.02	0	7.5
73	200	201	55.76	0	7.5
74	195	204	220.10	0	7.5

Cuadro A.3: Datos De Las Tuberías.

#Tubería	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	KM	CLASE
75	141	140	50.48	0	7.5
76	144	146	51.52	0	7.5
77	208	209	47.90	0	7.5
78	179	178	107.20	0	7.5
79	158	159	76.72	0	7.5
80	159	160	221.60	0	7.5
81	160	161	109.30	0	7.5
82	161	164	56.07	0	7.5
83	173	174	53.24	0	7.5
84	174	177	217.40	0	7.5
85	154	155	132.10	0	7.5
86	18	172	53.28	0	7.5
87	172	173	231.20	0	7.5
88	173	176	217.30	0	7.5
89	153	151	176.80	0	7.5
90	151	150	53.46	0	7.5
91	143	145	49.50	0	7.5
92	145	146	104.60	0	7.5
93	139	142	54.40	0	7.5
94	137	138	49.30	0	7.5
95	138	139	110.60	0	7.5
96	139	140	215.50	0	7.5
97	140	144	52.28	0	7.5
98	137	141	326.10	0	7.5
99	202	203	60.44	0	7.5
100	152	150	176.30	0	7.5
101	150	149	48.62	0	7.5
102	204	205	47.98	0	7.5
103	205	206	57.04	0	7.5
105	160	163	56.20	0	7.5
106	155	159	54.34	0	7.5
107	159	162	56.48	0	7.5
108	152	153	53.45	0	7.5
109	21	176	53.40	0	7.5
110	153	154	52.10	0	7.5
111	176	177	52.67	0	7.5
112	154	157	53.84	0	7.5
113	177	178	52.60	0	7.5
114	199	200	49.09	0	7.5
115	108	110	32.28	0	7.5
116	141	147	21.29	0	7.5
117	148	149	57.26	0	7.5
118	42	41	37.12	0	7.5
119	43	42	38.45	0	7.5

Cuadro A.4: Datos De Las Tuberías.

#Tubería	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	KM	CLASE
120	45	73	37.18	0	7.5
121	84	83	13.07	0	7.5
122	64	46	10.03	0	7.5
123	48	49	8.89	0	7.5
124	68	67	12.35	0	7.5
125	78	75	3.19	0	7.5
126	82	81	3.34	0	7.5
127	81	78	33.00	0	7.5
128	87	82	35.97	0	7.5
129	91	90	35.60	0	7.5
130	147	148	17.26	0	7.5
131	157	158	62.83	0	7.5
132	97	96	3.22	0	7.5
133	103	104	37.23	0	7.5
134	86	80	37.24	0	7.5
135	72	73	38.34	0	7.5
136	162	168	45.50	0	7.5
137	168	169	218.53	0	7.5
138	169	170	222.39	0	7.5
139	170	171	107.46	0	7.5
140	171	167	39.42	0	7.5
141	163	169	43.44	0	7.5
142	188	189	13.36	0	7.5
143	207	211	218.70	0	7.5
144	202	207	111.70	0	7.5
145	198	202	109.20	0	7.5
146	192	198	108.80	0	7.5
147	199	203	109.10	0	7.5
148	193	199	110.60	0	7.5
149	192	193	57.91	0	7.5
150	191	192	56.35	0	7.5
151	96	95	49.17	0	7.5
152	188	196	221.20	0	7.5
153	129	130	9.55	0	7.5
154	205	209	218.80	0	7.5
155	125	128	33.72	0	7.5
156	117	116	53.86	0	7.5
157	115	114	40.50	0	7.5
158	209	210	57.61	0	7.5
159	116	118	40.36	0	7.5
160	95	103	4.50	0	7.5
161	100	101	9.57	0	7.5
162	162	163	221.50	0	7.5
163	114	116	35.92	0	7.5
164	63	60	24.76	0	7.5



Cuadro A.5: Datos De Las Tuberías.

#Tubería	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	KM	CLASE
165	61	62	33.76	0	7.5
166	163	164	108.00	0	7.5
167	112	114	34.99	0	7.5
168	50	49	79.15	0	7.5
169	51	50	33.83	0	7.5
170	164	165	112.00	0	7.5
171	111	112	15.24	0	7.5
172	65	66	21.84	0	7.5
173	64	65	19.87	0	7.5
174	165	166	75.44	0	7.5
175	104	107	15.18	0	7.5
176	37	43	169.20	0	7.5
177	79	80	34.44	0	7.5
178	166	167	34.74	0	7.5
179	95	93	4.44	0	7.5
180	83	82	87.31	0	7.5
181	85	84	14.53	0	7.5
182	179	180	28.94	0	7.5
183	102	96	61.90	0	7.5
184	113	112	39.71	0	7.5
185	109	108	27.46	0	7.5
186	105	104	66.25	0	7.5
187	106	105	11.60	0	7.5
188	120	125	31.95	0	7.5
189	118	120	15.42	0	7.5
190	110	111	50.03	0	7.5
191	107	108	21.70	0	7.5
192	99	100	5.29	0	7.5
193	98	99	17.36	0	7.5
194	98	97	71.00	0	7.5
195	94	93	78.84	0	7.5
196	92	91	41.67	0	7.5
197	56	48	7.33	0	7.5
198	44	43	38.91	0	7.5
199	85	77	35.10	0	7.5
200	59	60	44.22	0	7.5
201	58	59	44.26	0	7.5
202	57	58	52.23	0	7.5
203	56	57	27.95	0	7.5
204	54	49	4.59	0	7.5
205	55	54	43.43	0	7.5
206	47	46	3.79	0	7.5
207	48	47	29.39	0	7.5
208	52	51	117.40	0	7.5
209	53	52	27.77	0	7.5

Cuadro A.6: Datos De Las Tuberías.

#Tubería	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	KM	CLASE
210	45	53	21.16	0	7.5
211	213	212	18.85	0	7.5
212	214	213	10.46	0	7.5
213	215	214	8.85	0	7.5
214	212	40	45.69	0	7.5
215	66	67	7.16	0	7.5
216	45	46	45.25	0	7.5
217	69	70	42.41	0	7.5
218	68	69	76.96	0	7.5
219	73	67	35.25	0	7.5
220	38	42	159.90	0	7.5
221	74	75	39.01	0	7.5
222	71	70	87.30	0	7.5
223	72	71	39.01	0	7.5
224	78	79	107.30	0	7.5
225	76	75	94.92	0	7.5
226	77	76	31.49	0	7.5
227	36	44	179.80	0	7.5
228	87	86	109.40	0	7.5
229	88	87	92.84	0	7.5
230	84	88	18.09	0	7.5
231	81	80	106.50	0	7.5
232	90	89	77.24	0	7.5
233	93	91	36.06	0	7.5
234	196	205	220.20	0	7.5
235	120	121	6.11	0	7.5
236	132	130	72.24	0	7.5
237	129	128	2.06	0	7.5
238	131	130	29.37	0	7.5
239	126	125	2.84	0	7.5
240	127	126	38.73	0	7.5
241	123	121	3.11	0	7.5
242	124	123	35.57	0	7.5
243	122	121	33.34	0	7.5
244	119	118	52.60	0	7.5
245	133	132	28.59	0	7.5
246	190	191	50.23	0	7.5
247	180	181	91.81	0	7.5
248	181	182	21.33	0	7.5
249	32	33	81.79	0	7.5
250	191	197	107.00	0	7.5
251	204	208	218.85	0	7.5

# Apéndice B

## Datos De Los Nudos Mollepata

Cuadro B.1: Datos De Los Nudos.

<b>NUDO#</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Cota(msnm)</b>	<b>Q(lps)</b>	<b>DESCRIP.</b>
1	582,335.258	8,548,337.166	3,110.000	0	RESERVOIRS
2	582,447.618	8,548,372.275	3,082.318	0	Nudo
3	582,540.102	8,548,401.202	3,061.316	0	Nudo
4	582,611.618	8,548,423.571	3,036.362	0	Nudo
5	582,640.676	8,548,432.660	3,029.979	0	Nudo
6	582,669.904	8,548,441.577	3,022.167	0	Nudo
7	582,673.730	8,548,442.744	3,020.812	0	Nudo
8	582,718.635	8,548,456.444	3,004.668	0	Nudo
9	582,797.286	8,548,481.105	2,981.031	0	Nudo
10	582,877.742	8,548,506.423	2,956.428	0	Nudo
11	582,936.874	8,548,524.948	2,922.705	0	Nudo
12	582,940.274	8,548,526.010	2,921.027	0	Nudo
13	582,972.122	8,548,535.833	2,907.508	0	Nudo
14	583,005.418	8,548,575.039	2,894.191	0	Nudo
15	583,078.690	8,548,572.409	2,861.489	0	Nudo
16	583,097.980	8,548,588.886	2,858.698	0	Nudo
17	583,101.022	8,548,591.484	2,856.063	0	Nudo
18	583,167.101	8,548,647.771	2,835.950	0.17	Nudo
19	583,257.972	8,548,725.130	2,829.860	0.51	Nudo
20	583,342.426	8,548,797.026	2,826.418	1.02	Nudo
21	583,507.759	8,548,937.774	2,820.000	0.68	Nudo
22	583,476.268	8,548,974.458	2,818.495	0.34	Nudo
23	583,561.570	8,549,047.284	2,809.008	1.36	Nudo
24	583,449.616	8,549,178.190	2,793.122	0	Nudo
25	583,461.023	8,549,187.721	2,790.101	0	Nudo

Cuadro B.2: Datos De Los Nudos.

<b>NUDO#</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Cota(msnm)</b>	<b>Q(lps)</b>	<b>DESCRIP.</b>
26	583,481.663	8,549,205.501	2,782.676	0	Nudo
27	583,487.855	8,549,215.582	2,764.000	0	Nudo
28	583,499.772	8,549,235.475	2,779.462	0	Nudo
29	583,510.213	8,549,266.631	2,795.673	0	Nudo
30	583,513.811	8,549,278.825	2,797.668	0	Nudo
31	583,541.744	8,549,385.951	2,817.407	0	Nudo
32	583,495.143	8,549,448.075	2,817.185	0	Nudo
33	583,474.210	8,549,527.137	2,823.168	0	Nudo
34	583,468.974	8,549,533.126	2,823.757	0	Nudo
35	583,615.128	8,549,653.549	2,837.335	0.72	Nudo
36	583,585.124	8,549,675.761	2,837.850	0.72	Nudo
37	583,553.068	8,549,701.010	2,837.600	0.65	Nudo
38	583,523.367	8,549,722.692	2,837.143	0.61	Nudo
39	583,492.189	8,549,746.351	2,836.352	0.44	Nudo
40	583,441.562	8,549,703.187	2,832.688	0.96	Nudo
41	583,375.225	8,549,649.556	2,827.015	0.27	Nudo
42	583,398.708	8,549,620.814	2,825.306	0.68	Nudo
43	583,423.079	8,549,591.081	2,826.396	0.65	Nudo
44	583,447.141	8,549,560.496	2,825.162	0.65	Nudo
45	583,372.150	8,549,646.997	2,826.558	0.2	Nudo
46	583,337.565	8,549,617.814	2,818.440	0.17	Nudo
47	583,335.119	8,549,620.712	2,818.551	0.07	Nudo
48	583,305.751	8,549,619.625	2,815.220	0.1	Nudo
49	583,296.866	8,549,619.296	2,814.409	0.17	Nudo
50	583,217.768	8,549,616.368	2,803.078	0.17	Nudo
51	583,214.690	8,549,650.059	2,803.179	0.24	Nudo
52	583,331.973	8,549,655.429	2,821.462	0.24	Nudo
53	583,358.616	8,549,663.259	2,826.448	0.03	Nudo
54	583,297.036	8,549,614.708	2,813.982	0	Nudo
55	583,258.674	8,549,594.354	2,806.280	0.38	Nudo
56	583,306.022	8,549,612.295	2,814.549	0	Nudo
57	583,320.987	8,549,588.693	2,812.700	0.2	Nudo
58	583,275.124	8,549,563.702	2,806.850	0	Nudo
59	583,258.178	8,549,522.813	2,804.590	0	Nudo
60	583,240.553	8,549,482.255	2,805.927	0.2	Nudo
61	583,226.274	8,549,449.397	2,808.000	0.17	Nudo
62	583,257.212	8,549,435.896	2,797.906	0.27	Nudo
63	583,263.263	8,549,472.387	2,800.369	0.14	Nudo
64	583,329.901	8,549,611.347	2,816.143	0	Nudo
65	583,342.882	8,549,596.308	2,816.226	0	Nudo
66	583,364.283	8,549,600.687	2,820.046	0	Nudo
67	583,368.930	8,549,595.238	2,820.027	0.17	Nudo
68	583,359.658	8,549,587.080	2,818.698	0.14	Nudo
69	583,319.992	8,549,521.127	2,806.690	0.17	Nudo

Cuadro B.3: Datos De Los Nudos.

<b>NUDO#</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Cota(msnm)</b>	<b>Q(lps)</b>	<b>DESCRIP.</b>
70	583,346.552	8,549,488.064	2,805.644	0.44	Nudo
71	583,389.696	8,549,563.962	2,822.653	0.48	Nudo
72	583,419.974	8,549,588.558	2,826.063	0.14	Nudo
73	583,395.673	8,549,618.207	2,824.833	0.1	Nudo
74	583,339.258	8,549,475.233	2,801.242	0	Nudo
75	583,372.960	8,549,455.582	2,800.575	0.41	Nudo
76	583,419.390	8,549,538.368	2,822.295	0.51	Nudo
77	583,444.006	8,549,558.012	2,825.419	0.1	Nudo
78	583,371.401	8,549,452.802	2,799.686	0.2	Nudo
79	583,317.462	8,549,360.076	2,789.885	0.14	Nudo
80	583,347.197	8,549,342.692	2,792.807	0.48	Nudo
81	583,399.478	8,549,435.459	2,806.497	0.41	Nudo
82	583,401.308	8,549,438.247	2,806.954	0.48	Nudo
83	583,445.410	8,549,513.605	2,821.557	0.48	Nudo
84	583,455.472	8,549,521.940	2,822.671	0	Nudo
85	583,466.665	8,549,531.210	2,823.552	0	Nudo
86	583,379.846	8,549,324.781	2,792.686	0.24	Nudo
87	583,432.660	8,549,420.608	2,805.901	0.48	Nudo
88	583,466.023	8,549,507.241	2,820.643	0.07	Nudo
89	583,474.458	8,549,522.296	2,822.602	0	Nudo
90	583,494.225	8,549,447.633	2,816.814	0	Nudo
91	583,515.588	8,549,419.154	2,818.147	0.07	Nudo
92	583,479.615	8,549,398.113	2,806.353	0.2	Nudo
93	583,537.225	8,549,390.309	2,817.853	0	Nudo
94	583,469.455	8,549,350.022	2,796.792	0.61	Nudo
95	583,539.888	8,549,386.759	2,817.418	0	Nudo
96	583,527.482	8,549,339.178	2,805.574	0.24	Nudo
97	583,524.370	8,549,339.989	2,805.339	0	Nudo
98	583,462.899	8,549,304.460	2,794.374	0	Nudo
99	583,472.102	8,549,289.745	2,795.143	0	Nudo
100	583,477.355	8,549,290.349	2,795.544	0	Nudo
101	583,486.319	8,549,286.989	2,795.803	0.55	Nudo
102	583,511.865	8,549,279.284	2,797.616	0.51	Nudo
103	583,540.862	8,549,391.148	2,818.236	0	Nudo
104	583,576.999	8,549,382.188	2,818.942	0	Nudo
105	583,559.959	8,549,318.163	2,802.264	0	Nudo
106	583,550.985	8,549,310.816	2,801.168	0.44	Nudo
107	583,591.735	8,549,378.535	2,818.250	0	Nudo
108	583,612.149	8,549,371.167	2,816.691	0	Nudo
109	583,604.539	8,549,344.781	2,810.124	0.14	Nudo

Cuadro B.4: Datos De Los Nudos.

<b>NUDO#</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Cota(msnm)</b>	<b>Q(lps)</b>	<b>DESCRIP.</b>
110	583,642.514	8,549,360.208	2,817.856	0	Nudo
111	583,643.532	8,549,310.184	2,811.124	0.14	Nudo
112	583,653.272	8,549,298.466	2,812.058	0	Nudo
113	583,623.430	8,549,272.261	2,802.464	0.17	Nudo
114	583,675.635	8,549,271.560	2,813.342	0	Nudo
115	583,624.059	8,549,225.406	2,798.736	0.27	Nudo
116	583,698.597	8,549,243.934	2,812.395	0	Nudo
117	583,658.435	8,549,208.054	2,802.437	0.38	Nudo
118	583,724.395	8,549,212.897	2,809.778	0	Nudo
119	583,686.186	8,549,176.745	2,801.774	0.2	Nudo
120	583,734.251	8,549,201.039	2,806.203	0	Nudo
121	583,729.760	8,549,196.899	2,805.116	0	Nudo
122	583,705.244	8,549,174.301	2,801.761	0.07	Nudo
123	583,731.870	8,549,194.610	2,804.722	0	Nudo
124	583,745.673	8,549,161.831	2,799.577	0.2	Nudo
125	583,759.318	8,549,220.854	2,808.749	0	Nudo
126	583,761.078	8,549,218.627	2,808.595	0	Nudo
127	583,776.110	8,549,182.928	2,800.563	0.31	Nudo
128	583,785.915	8,549,241.576	2,809.208	0	Nudo
129	583,787.696	8,549,240.548	2,808.781	0	Nudo
130	583,791.873	8,549,231.958	2,806.845	0	Nudo
131	583,804.717	8,549,205.546	2,802.236	0.1	Nudo
132	583,857.764	8,549,261.575	2,808.161	0	Nudo
133	583,869.535	8,549,235.525	2,802.616	0.03	Nudo
134	583,311.237	8,548,833.568	2,824.826	0.51	Nudo
135	583,261.852	8,548,791.407	2,824.137	0	Nudo
136	583,237.000	8,548,749.323	2,826.322	0.17	Nudo
137	583,299.551	8,548,847.259	2,822.901	0.51	Nudo
138	583,267.546	8,548,884.757	2,808.078	0.34	Nudo
139	583,351.366	8,548,956.843	2,819.252	0.85	Nudo
140	583,514.781	8,549,097.378	2,798.540	0.68	Nudo
141	583,547.590	8,549,059.015	2,806.617	0.34	Nudo
142	583,316.868	8,548,998.911	2,809.591	0.17	Nudo
143	583,400.745	8,549,069.620	2,807.829	0.51	Nudo
144	583,480.802	8,549,137.109	2,794.668	0.34	Nudo
145	583,368.626	8,549,107.282	2,793.179	0.17	Nudo
146	583,447.313	8,549,176.267	2,793.843	0.17	Nudo
147	583,564.250	8,549,072.265	2,805.304	0	Nudo
148	583,575.457	8,549,059.138	2,806.709	0	Nudo
149	583,619.005	8,549,096.316	2,795.808	0.2	Nudo

Cuadro B.5: Datos De Los Nudos.

<b>NUDO#</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Cota(msnm)</b>	<b>Q(lps)</b>	<b>DESCRIP.</b>
150	583,651.112	8,549,059.811	2,798.485	0.41	Nudo
151	583,686.362	8,549,019.620	2,800.127	0.2	Nudo
152	583,516.864	8,548,945.590	2,819.146	0.34	Nudo
153	583,551.681	8,548,905.031	2,819.608	0.72	Nudo
154	583,585.620	8,548,865.496	2,819.747	0.38	Nudo
155	583,682.076	8,548,955.688	2,805.836	0.86	Nudo
156	583,831.923	8,549,119.200	2,793.894	0.24	Nudo
157	583,620.690	8,548,824.643	2,820.412	0.1	Nudo
158	583,665.877	8,548,865.532	2,816.230	0.66	Nudo
159	583,718.551	8,548,922.012	2,808.286	0.78	Nudo
160	583,867.967	8,549,086.224	2,801.523	0.75	Nudo
161	583,943.251	8,549,167.684	2,803.429	0.17	Nudo
162	583,764.374	8,548,881.473	2,815.308	0.58	Nudo
163	583,913.352	8,549,045.373	2,812.250	0.85	Nudo
164	583,987.140	8,549,126.565	2,816.884	0.48	Nudo
165	584,061.308	8,549,208.149	2,812.000	0.17	Nudo
166	584,112.048	8,549,263.971	2,811.250	0.17	Nudo
167	584,140.844	8,549,283.397	2,812.012	0	Nudo
168	583,800.709	8,548,849.579	2,818.771	0.34	Nudo
169	583,947.278	8,549,013.601	2,822.314	0.68	Nudo
170	584,096.345	8,549,176.492	2,820.545	0.31	Nudo
171	584,170.221	8,549,255.122	2,818.024	0.17	Nudo
172	583,200.994	8,548,606.662	2,830.795	0.34	Nudo
173	583,377.053	8,548,756.455	2,825.647	1.02	Nudo
174	583,411.619	8,548,715.957	2,823.730	1.6	Nudo
175	583,446.775	8,548,674.767	2,820.127	0.17	Nudo
176	583,542.542	8,548,897.255	2,819.905	0.68	Nudo
177	583,576.847	8,548,857.293	2,820.027	0.68	Nudo
178	583,611.108	8,548,817.381	2,820.528	0.34	Nudo
179	583,530.117	8,548,747.105	2,821.000	0.51	Nudo
180	583,549.059	8,548,725.229	2,819.854	0	Nudo
181	583,630.477	8,548,767.650	2,818.715	0.07	Nudo
182	583,651.664	8,548,770.137	2,818.450	0.02	Nudo
183	583,748.589	8,548,781.513	2,816.864	0	Nudo
184	583,751.348	8,548,778.348	2,816.986	0.07	Nudo
185	583,755.838	8,548,773.197	2,816.532	0	Nudo
186	583,828.388	8,548,791.864	2,819.000	0.1	Nudo
187	583,808.663	8,548,841.534	2,819.278	0.41	Nudo
188	583,844.296	8,548,809.401	2,819.890	0.58	Nudo
189	583,854.215	8,548,800.456	2,819.709	0	Nudo

Cuadro B.6: Datos De Los Nudos.

<b>NUDO#</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Cota(msnm)</b>	<b>Q(lps)</b>	<b>DESCRIP.</b>
190	583,928.786	8,548,819.100	2,820.231	0.14	Nudo
191	583,962.628	8,548,856.216	2,821.910	0.44	Nudo
192	584,003.185	8,548,817.089	2,819.670	0.31	Nudo
193	584,044.864	8,548,776.880	2,819.964	0.14	Nudo
194	584,010.783	8,548,740.272	2,819.785	0.56	Nudo
195	583,957.368	8,549,005.468	2,824.492	0.68	Nudo
196	583,992.913	8,548,973.241	2,827.340	1.37	Nudo
197	584,034.750	8,548,935.311	2,827.281	0.85	Nudo
198	584,076.382	8,548,897.566	2,826.011	0.65	Nudo
199	584,120.221	8,548,857.821	2,822.578	0.48	Nudo
200	584,156.587	8,548,824.850	2,820.837	0	Nudo
201	584,194.735	8,548,865.513	2,823.448	0.17	Nudo
202	584,149.833	8,548,978.321	2,831.440	0.51	Nudo
203	584,194.536	8,548,937.643	2,826.965	0.17	Nudo
204	584,105.247	8,549,168.492	2,822.524	0.68	Nudo
205	584,140.864	8,549,136.346	2,829.151	1.37	Nudo
206	584,183.209	8,549,098.128	2,832.325	1.4	Nudo
207	584,217.533	8,549,067.149	2,831.311	0.35	Nudo
208	584,252.336	8,549,330.537	2,820.682	0.34	Nudo
209	584,287.865	8,549,298.404	2,830.273	0.68	Nudo
210	584,330.583	8,549,259.752	2,839.373	0.58	Nudo
211	584,363.693	8,549,229.799	2,840.990	0.18	Nudo
212	583,412.837	8,549,738.716	2,830.287	0	Nudo
213	583,398.376	8,549,726.632	2,830.133	0	Nudo
214	583,403.647	8,549,717.600	2,830.944	0	Nudo
215	583,401.154	8,549,709.109	2,830.802	0.07	Nudo



## Apéndice C

# DATOS Y RESULTADOS DEL MEJOR INDIVIDUO

### C.1. DATOS FORMATO EPANET

[TITLE]  
CÁLCULO E

[JUNCTIONS]

;ID Nudo	Cota	Demanda	Curva de Modulac.
2	3082.31787	0	;
3	3061.31592	0	;
4	3036.36157	0	;
5	3029.97876	0	;
6	3022.16748	0	;
7	3020.81201	0	;
8	3004.66821	0	;
9	2981.03149	0	;
10	2956.42773	0	;
11	2922.70483	0	;
12	2921.02661	0	;
13	2907.50757	0	;
14	2894.19116	0	;
15	2861.48877	0	;
16	2858.69849	0	;
17	2856.06323	0	;
18	2835.95044	0.17	;
19	2829.85986	0.51	;
20	2826.41846	1.02	;
21	2820	0.68	;
22	2818.49512	0.34	;
23	2809.00781	1.36	;
24	2793.12231	0	;
25	2790.10107	0	;
26	2782.67554	0	;
27	2764	0	;
28	2779.46191	0	;
29	2795.67285	0	;
30	2797.66821	0	;
31	2817.40674	0	;
32	2817.18457	0	;
33	2823.16821	0	;
34	2823.75684	0	;
35	2837.33496	0.72	;
36	2837.85034	0.72	;
37	2837.59961	0.65	;
38	2837.14282	0.61	;
39	2836.35181	0.44	;
40	2832.68823	0.96	;
41	2827.01514	0.27	;
42	2825.30566	0.68	;
43	2826.39551	0.65	;
44	2825.16187	0.65	;
45	2826.55762	0.2	;
46	2818.44043	0.17	;
47	2818.55127	0.07	;
48	2815.22046	0.1	;
49	2814.40942	0.17	;
50	2803.07788	0.17	;
51	2803.1792	0.24	;

C.1. DATOS FORMATO EPANET

52	2821.46216	0.24	;
53	2826.44849	0.03	;
54	2813.98242	0	;
55	2806.27954	0.38	;
56	2814.54907	0	;
57	2812.69971	0.2	;
58	2806.84961	0	;
59	2804.58984	0	;
60	2805.92676	0.2	;
61	2808	0.17	;
62	2797.90576	0.27	;
63	2800.36914	0.14	;
64	2816.14331	0	;
65	2816.22607	0	;
66	2820.04639	0	;
67	2820.02686	0.17	;
68	2818.69849	0.14	;
69	2806.6897	0.17	;
70	2805.64356	0.44	;
71	2822.65283	0.48	;
72	2826.0625	0.14	;
73	2824.83301	0.1	;
74	2801.24219	0	;
75	2800.57471	0.41	;
76	2822.29517	0.51	;
77	2825.41895	0.1	;
78	2799.68555	0.2	;
79	2789.88501	0.14	;
80	2792.80689	0.48	;
81	2806.49683	0.41	;
82	2806.95435	0.48	;
83	2821.55737	0.48	;
84	2822.6709	0	;
85	2823.552	0	;
86	2792.68628	0.24	;
87	2805.90064	0.48	;
88	2820.64307	0.07	;
89	2822.60181	0	;
90	2816.81372	0	;
91	2818.14673	0.07	;
92	2806.35254	0.2	;
93	2817.85327	0	;
94	2796.79248	0.61	;
95	2817.41773	0	;
96	2805.57398	0.24	;
97	2805.33887	0	;
98	2794.37378	0	;
99	2795.14307	0	;
100	2795.5437	0	;
101	2795.80273	0.55	;
102	2797.61572	0.51	;
103	2818.23584	0	;
104	2818.94214	0	;
105	2802.26416	0	;
106	2801.16846	0.44	;

C.1. DATOS FORMATO EPANET

107	2818.25024	0	;
108	2816.69141	0	;
109	2810.12402	0.14	;
110	2817.85645	0	;
111	2811.12402	0.14	;
112	2812.05786	0	;
113	2802.46362	0.17	;
114	2813.34229	0	;
115	2798.7356	0.27	;
116	2812.39502	0	;
117	2802.43652	0.38	;
118	2809.77832	0	;
119	2801.77441	0.2	;
120	2806.20337	0	;
121	2805.11621	0	;
122	2801.76074	0.07	;
123	2804.72168	0	;
124	2799.57739	0.2	;
125	2808.74902	0	;
126	2808.59473	0	;
127	2800.5625	0.31	;
128	2809.20752	0	;
129	2808.78125	0	;
130	2806.84473	0	;
131	2802.23608	0.1	;
132	2808.16089	0	;
133	2802.61572	0.03	;
134	2824.82617	0.51	;
135	2824.13721	0	;
136	2826.32202	0.17	;
137	2822.90064	0.51	;
138	2808.07764	0.34	;
139	2819.25195	0.85	;
140	2798.54028	0.68	;
141	2806.6167	0.34	;
142	2809.59058	0.17	;
143	2807.8291	0.51	;
144	2794.66846	0.34	;
145	2793.17871	0.17	;
146	2793.84326	0.17	;
147	2805.3042	0	;
148	2806.70898	0	;
149	2795.80835	0.2	;
150	2798.48535	0.41	;
151	2800.12695	0.2	;
152	2819.146	0.34	;
153	2819.60791	0.72	;
154	2819.74731	0.38	;
155	2805.83643	0.86	;
156	2793.89429	0.24	;
157	2820.41235	0.1	;
158	2816.23023	0.66	;
159	2808.28589	0.78	;
160	2801.52319	0.75	;
161	2803.42871	0.17	;

C.1. DATOS FORMATO EPANET

162	2815.30762	0.58	;
163	2812.24951	0.85	;
164	2816.88403	0.48	;
165	2812	0.17	;
166	2811.25024	0.17	;
167	2812.01221	0	;
168	2818.77051	0.34	;
169	2822.31445	0.68	;
170	2820.54492	0.31	;
171	2818.02368	0.17	;
172	2830.79492	0.34	;
173	2825.64673	1.02	;
174	2823.73023	1.6	;
175	2820.1272	0.17	;
176	2819.90454	0.68	;
177	2820.02686	0.68	;
178	2820.52832	0.34	;
179	2821	0.51	;
180	2819.85425	0	;
181	2818.71484	0.07	;
182	2818.44995	0.02	;
183	2816.86377	0	;
184	2816.98608	0.07	;
185	2816.53174	0	;
186	2819	0.1	;
187	2819.27808	0.41	;
188	2819.89038	0.58	;
189	2819.70923	0	;
190	2820.23071	0.14	;
191	2821.90967	0.44	;
192	2819.66992	0.31	;
193	2819.96362	0.14	;
194	2819.78516	0.56	;
195	2824.49243	0.68	;
196	2827.34009	1.37	;
197	2827.28076	0.85	;
198	2826.01074	0.65	;
199	2822.57837	0.48	;
200	2820.83667	0	;
201	2823.44849	0.17	;
202	2831.44043	0.51	;
203	2826.96533	0.17	;
204	2822.52441	0.68	;
205	2829.15088	1.37	;
206	2832.32495	1.4	;
207	2831.31055	0.35	;
208	2820.68237	0.34	;
209	2830.27271	0.68	;
210	2839.37256	0.58	;
211	2840.99048	0.18	;
212	2830.28735	0	;
213	2830.13281	0	;
214	2830.94385	0	;
215	2830.80249	0.07	;

C.1. DATOS FORMATO EPANET

[RESERVOIRS]

```
;ID Nudo      Altura      Curva modulac.
      1          3110          ;
```

[TANKS]

```
;ID Nudo      Cota          NivelIni      NivelMín      NivelMáx      Diámetro      VolMín      CurvCubic
```

[PIPES]

```
;ID Línea      Nudo1      Nudo2      Longitud      Diámetro      Rugosidad      PérdMen      Estado
      1          1          2          117.7         185.4         130           0 Open      ;
      2          2          3          96.9          185.4         130           0 Open      ;
      3          3          4          74.93         180.8         130           0 Open      ;
      4          4          5          30.45         172           130           0 Open      ;
      5          5          6          30.56         172           130           0 Open      ;
      7          7          8          46.95         185.4         130           0 Open      ;
      8          8          9          82.43         185.4         130           0 Open      ;
      9          9          10         84.35         180.8         130           0 Open      ;
     10         10         11         61.97         172           130           0 Open      ;
     12         12         13         33.33         185.4         130           0 Open      ;
     13         13         14         51.44         185.4         130           0 Open      ;
     14         14         15         73.32         180.8         130           0 Open      ;
     15         15         16         25.37         180.8         130           0 Open      ;
     17         17         18         86.8          185.4         130           0 Open      ;
     18         18         19         119.3         185.4         130           0 Open      ;
     19         19         136        32.02         148.4         130           0 Open      ;
     20         136        135        48.87         148.4         130           0 Open      ;
     21         135        134        64.93         148.4         130           0 Open      ;
     23         134        22         217           148.4         130           0 Open      ;
     24         22         23        112.16         180.8         130           0 Open      ;
     25         23         24        172.3         180.8         130           0 Open      ;
     26         24         25        14.87         137.6         130           0 Open      ;
     27         25         26        27.24         137.6         130           0 Open      ;
     28         26         27        11.83         137.6         130           0 Open      ;
     29         27         28        23.19         137.6         130           0 Open      ;
     30         28         29        32.86         137.6         130           0 Open      ;
     31         29         30        12.71         144.6         130           0 Open      ;
     32         30         31        110.7         144.6         130           0 Open      ;
     33         31         32        77.66         148.4         130           0 Open      ;
     34         33         34         7.96          148.4         130           0 Open      ;
     35         34         35       189.37         148.4         130           0 Open      ;
     36         35         36        36.33         148.4         130           0 Open      ;
     37         36         37         39.6          58.4          130           0 Open      ;
     38         37         38        38.45         58.4          130           0 Open      ;
     39         38         39        38.26         58.4          130           0 Open      ;
     40         39         40        65.31         58.4          130           0 Open      ;
     41         40         41         85.3          58.4          130           0 Open      ;
     43         174        175        54.15         102           130           0 Open      ;
     44         175        179        110.4         58.4          130           0 Open      ;
     45         197        206        220.3         58.4          130           0 Open      ;
     46         155        156        221.8         58.4          130           0 Open      ;
     47         156        160        53.72         58.4          130           0 Open      ;
     48         206        210        218.7         58.4          130           0 Open      ;
     49         142        143        109.7         69.4          130           0 Open      ;
     50         143        144        104.7         58.4          130           0 Open      ;
     51         210        211        44.65         58.4          130           0 Open      ;
```

C.1. DATOS FORMATO EPANET

52	184	185	6.83	148.4	130	0 Open	;
53	195	196	47.98	58.4	130	0 Open	;
54	196	197	56.47	58.4	130	0 Open	;
55	185	186	74.91	148.4	130	0 Open	;
56	178	182	62.26	185.4	130	0 Open	;
58	186	188	23.68	148.4	130	0 Open	;
59	60	61	35.83	58.4	130	0 Open	;
60	70	74	14.76	58.4	130	0 Open	;
61	182	183	97.59	148.4	130	0 Open	;
62	19	20	110.9	83.4	130	0 Open	;
63	183	184	4.2	185.4	130	0 Open	;
64	20	21	217.1	102	130	0 Open	;
65	89	85	11.84	69.4	130	0 Open	;
66	72	77	38.87	69.4	130	0 Open	;
67	184	187	85.31	58.4	130	0 Open	;
68	22	21	48.35	69.4	130	0 Open	;
69	165	170	45.93	69.4	130	0 Open	;
70	189	190	76.87	129.8	130	0 Open	;
71	187	195	221.3	58.4	130	0 Open	;
72	194	193	50.02	58.4	130	0 Open	;
73	200	201	55.76	58.4	130	0 Open	;
74	195	204	220.1	58.4	130	0 Open	;
75	141	140	50.48	58.4	130	0 Open	;
76	144	146	51.52	58.4	130	0 Open	;
77	208	209	47.9	58.4	130	0 Open	;
78	179	178	107.2	58.4	130	0 Open	;
79	158	159	76.72	69.4	130	0 Open	;
80	159	160	221.6	83.4	130	0 Open	;
81	160	161	109.3	58.4	130	0 Open	;
82	161	164	56.07	58.4	130	0 Open	;
83	173	174	53.24	102	130	0 Open	;
84	174	177	217.4	58.4	130	0 Open	;
85	154	155	132.1	69.4	130	0 Open	;
86	18	172	53.28	185.4	130	0 Open	;
87	172	173	231.2	185.4	130	0 Open	;
88	173	176	217.3	58.4	130	0 Open	;
89	153	151	176.8	69.4	130	0 Open	;
90	151	150	53.46	83.4	130	0 Open	;
91	143	145	49.5	58.4	130	0 Open	;
92	145	146	104.6	58.4	130	0 Open	;
93	139	142	54.4	58.4	130	0 Open	;
94	137	138	49.3	58.4	130	0 Open	;
95	138	139	110.6	69.4	130	0 Open	;
96	139	140	215.5	58.4	130	0 Open	;
97	140	144	52.28	58.4	130	0 Open	;
98	137	141	326.1	129.8	130	0 Open	;
99	202	203	60.44	58.4	130	0 Open	;
100	152	150	176.3	102	130	0 Open	;
101	150	149	48.62	129.8	130	0 Open	;
102	204	205	47.98	83.4	130	0 Open	;
103	205	206	57.04	129.8	130	0 Open	;
105	160	163	56.2	58.4	130	0 Open	;
106	155	159	54.34	58.4	130	0 Open	;
107	159	162	56.48	58.4	130	0 Open	;
108	152	153	53.45	83.4	130	0 Open	;

C.1. DATOS FORMATO EPANET

109	21	176	53.4	102	130	0 Open	;
110	153	154	52.1	83.4	130	0 Open	;
111	176	177	52.67	129.8	130	0 Open	;
112	154	157	53.84	58.4	130	0 Open	;
113	177	178	52.6	148.4	130	0 Open	;
114	199	200	49.09	58.4	130	0 Open	;
115	108	110	32.28	58.4	130	0 Open	;
116	141	147	21.29	129.8	130	0 Open	;
117	148	149	57.26	129.8	130	0 Open	;
118	42	41	37.12	148.4	130	0 Open	;
119	43	42	38.45	148.4	130	0 Open	;
120	45	73	37.18	83.4	130	0 Open	;
121	84	83	13.07	58.4	130	0 Open	;
122	64	46	10.03	58.4	130	0 Open	;
123	48	49	8.89	58.4	130	0 Open	;
124	68	67	12.35	58.4	130	0 Open	;
125	78	75	3.19	58.4	130	0 Open	;
126	82	81	3.34	58.4	130	0 Open	;
127	81	78	33	58.4	130	0 Open	;
128	87	82	35.97	58.4	130	0 Open	;
129	91	90	35.6	69.4	130	0 Open	;
130	147	148	17.26	129.8	130	0 Open	;
131	157	158	62.83	129.8	130	0 Open	;
132	97	96	3.22	58.4	130	0 Open	;
133	103	104	37.23	69.4	130	0 Open	;
134	86	80	37.24	58.4	130	0 Open	;
135	72	73	38.34	69.4	130	0 Open	;
136	162	168	45.5	58.4	130	0 Open	;
137	168	169	218.53	58.4	130	0 Open	;
138	169	170	222.39	58.4	130	0 Open	;
139	170	171	107.46	58.4	130	0 Open	;
140	171	167	39.42	83.4	130	0 Open	;
141	163	169	43.44	58.4	130	0 Open	;
142	188	189	13.36	148.4	130	0 Open	;
143	207	211	218.7	58.4	130	0 Open	;
144	202	207	111.7	58.4	130	0 Open	;
145	198	202	109.2	58.4	130	0 Open	;
146	192	198	108.8	58.4	130	0 Open	;
147	199	203	109.1	58.4	130	0 Open	;
148	193	199	110.6	58.4	130	0 Open	;
149	192	193	57.91	58.4	130	0 Open	;
150	191	192	56.35	129.8	130	0 Open	;
151	96	95	49.17	58.4	130	0 Open	;
152	188	196	221.2	58.4	130	0 Open	;
153	129	130	9.55	58.4	130	0 Open	;
154	205	209	218.8	58.4	130	0 Open	;
155	125	128	33.72	58.4	130	0 Open	;
156	117	116	53.86	58.4	130	0 Open	;
157	115	114	40.5	58.4	130	0 Open	;
158	209	210	57.61	58.4	130	0 Open	;
159	116	118	40.36	58.4	130	0 Open	;
160	95	103	4.5	69.4	130	0 Open	;
161	100	101	9.57	58.4	130	0 Open	;
162	162	163	221.5	58.4	130	0 Open	;
163	114	116	35.92	58.4	130	0 Open	;



C.1. DATOS FORMATO EPANET

164	63	60	24.76	58.4	130	0 Open	;
165	61	62	33.76	58.4	130	0 Open	;
166	163	164	108	69.4	130	0 Open	;
167	112	114	34.99	58.4	130	0 Open	;
168	50	49	79.15	58.4	130	0 Open	;
169	51	50	33.83	58.4	130	0 Open	;
170	164	165	112	58.4	130	0 Open	;
171	111	112	15.24	58.4	130	0 Open	;
172	65	66	21.84	58.4	130	0 Open	;
173	64	65	19.87	58.4	130	0 Open	;
174	165	166	75.44	58.4	130	0 Open	;
175	104	107	15.18	58.4	130	0 Open	;
176	37	43	169.2	58.4	130	0 Open	;
177	79	80	34.44	58.4	130	0 Open	;
178	166	167	34.74	58.4	130	0 Open	;
179	95	93	4.44	69.4	130	0 Open	;
180	83	82	87.31	58.4	130	0 Open	;
181	85	84	14.53	69.4	130	0 Open	;
182	179	180	28.94	58.4	130	0 Open	;
183	102	96	61.9	58.4	130	0 Open	;
184	113	112	39.71	58.4	130	0 Open	;
185	109	108	27.46	58.4	130	0 Open	;
186	105	104	66.25	58.4	130	0 Open	;
187	106	105	11.6	58.4	130	0 Open	;
188	120	125	31.95	58.4	130	0 Open	;
189	118	120	15.42	58.4	130	0 Open	;
190	110	111	50.03	58.4	130	0 Open	;
191	107	108	21.7	58.4	130	0 Open	;
192	99	100	5.29	58.4	130	0 Open	;
193	98	99	17.36	58.4	130	0 Open	;
194	98	97	71	58.4	130	0 Open	;
195	94	93	78.84	58.4	130	0 Open	;
196	92	91	41.67	58.4	130	0 Open	;
197	56	48	7.33	58.4	130	0 Open	;
198	44	43	38.91	148.4	130	0 Open	;
199	85	77	35.1	69.4	130	0 Open	;
200	59	60	44.22	58.4	130	0 Open	;
201	58	59	44.26	58.4	130	0 Open	;
202	57	58	52.23	58.4	130	0 Open	;
203	56	57	27.95	58.4	130	0 Open	;
204	54	49	4.59	58.4	130	0 Open	;
205	55	54	43.43	58.4	130	0 Open	;
206	47	46	3.79	58.4	130	0 Open	;
207	48	47	29.39	58.4	130	0 Open	;
208	52	51	117.4	58.4	130	0 Open	;
209	53	52	27.77	58.4	130	0 Open	;
210	45	53	21.16	58.4	130	0 Open	;
211	213	212	18.85	58.4	130	0 Open	;
212	214	213	10.46	58.4	130	0 Open	;
213	215	214	8.85	58.4	130	0 Open	;
214	212	40	45.69	58.4	130	0 Open	;
215	66	67	7.16	58.4	130	0 Open	;
216	45	46	45.25	58.4	130	0 Open	;
217	69	70	42.41	58.4	130	0 Open	;
218	68	69	76.96	58.4	130	0 Open	;

C.1. DATOS FORMATO EPANET

219	73	67	35.25	58.4	130	0 Open	;
220	38	42	159.9	58.4	130	0 Open	;
221	74	75	39.01	58.4	130	0 Open	;
222	71	70	87.3	58.4	130	0 Open	;
223	72	71	39.01	58.4	130	0 Open	;
224	78	79	107.3	58.4	130	0 Open	;
225	76	75	94.92	58.4	130	0 Open	;
226	77	76	31.49	58.4	130	0 Open	;
227	36	44	179.8	148.4	130	0 Open	;
228	87	86	109.4	58.4	130	0 Open	;
229	88	87	92.84	58.4	130	0 Open	;
230	84	88	18.09	58.4	130	0 Open	;
231	81	80	106.5	58.4	130	0 Open	;
232	90	89	77.24	69.4	130	0 Open	;
233	93	91	36.06	69.4	130	0 Open	;
234	196	205	220.2	58.4	130	0 Open	;
235	120	121	6.11	58.4	130	0 Open	;
236	132	130	72.24	58.4	130	0 Open	;
237	129	128	2.06	58.4	130	0 Open	;
238	131	130	29.37	58.4	130	0 Open	;
239	126	125	2.84	58.4	130	0 Open	;
240	127	126	38.73	58.4	130	0 Open	;
241	123	121	3.11	58.4	130	0 Open	;
242	124	123	35.57	58.4	130	0 Open	;
243	122	121	33.34	58.4	130	0 Open	;
244	119	118	52.6	58.4	130	0 Open	;
245	133	132	28.59	58.4	130	0 Open	;
246	190	191	50.23	102	130	0 Open	;
247	180	181	91.81	58.4	130	0 Open	;
248	181	182	21.33	58.4	130	0 Open	;
249	32	33	81.79	148.4	130	0 Open	;
250	191	197	107	83.4	130	0 Open	;
251	204	208	218.85	58.4	130	0 Open	;

[PUMPS]

;ID línea NudoAsp NudoImp Parámetros

[VALVES]

;ID línea	NudoAgArr	NudoAgAbj	Diámetro	Tipo	Consigna	PérdMen
6	6	7	185.4	PRV	10	0 ;
11	11	12	185.4	PRV	10	0 ;
16	16	17	185.4	PRV	10	0 ;
22	134	137	129.8	PRV	20	0 ;
42	41	45	58.4	PRV	15	0 ;

[TAGS]

[DEMANDS]

;ID Nudo Demanda Bas Curva Modula Tipo Demanda

[STATUS]

;ID línea Estado/Consigna

```

[PATTERNS]
;ID Curva      Multiplicadores

[CURVES]
;ID Curva      Valor X      Valor Y

[CONTROLS]

[RULES]

[ENERGY]
Global Efficie      75
Global Price        0
Demand Char        0

[EMITTERS]
;ID Nudo_Cau Coeficiente

[QUALITY]
;ID Nudo      Calidad Inicial

[SOURCES]
;ID Nudo      Tipo          Calidad      Curva Modul

[REACTIONS]
;Tipo      Tub/Depós      Coeficiente

[REACTIONS]
Order Bulk      1
Order Tank      1
Order Wall      1
Global Bulk     0
Global Wall     0
Limiting Pote   0
Roughness Co    0

[MIXING]
;ID Depósito  Modelo      Fracción Mezcla

[TIMES]
Duration        00:00
Hydraulic Tir   01:00
Quality Time:   00:05
Pattern Time:   01:00
Pattern Start   00:00
Report Times    01:00
Report Start    00:00
Start ClockTir  12:00 a.m.
Statistic       None

[REPORT]
Status          NO
Summary         No
Page            0
    
```

[OPTIONS]

Units	LPS	
Headloss	H-W	
Specific Gravi		1
Viscosity		1
Trials		40
Accuracy		0.001
Unbalanced	Continue	10
Pattern		1
Demand Mul		1
Emitter Expo		0.5
Quality	None	mg/l
Diffusivity		1
Tolerance		0.01

[COORDINATES]

;ID Nudo	Coord X	Coord Y
2	582447.62	8548372.28
3	582540.1	8548401.2
4	582611.62	8548423.57
5	582640.68	8548432.66
6	582669.9	8548441.58
7	582673.73	8548442.74
8	582718.63	8548456.44
9	582797.29	8548481.11
10	582877.74	8548506.42
11	582936.87	8548524.95
12	582940.27	8548526.01
13	582972.12	8548535.83
14	583005.42	8548575.04
15	583078.69	8548572.41
16	583097.98	8548588.89
17	583101.02	8548591.48
18	583167.1	8548647.77
19	583257.97	8548725.13
20	583342.43	8548797.03
21	583507.76	8548937.77
22	583476.27	8548974.46
23	583561.57	8549047.28
24	583449.62	8549178.19
25	583461.02	8549187.72
26	583481.66	8549205.5
27	583487.86	8549215.58
28	583499.77	8549235.48
29	583510.21	8549266.63
30	583513.81	8549278.83
31	583541.74	8549385.95
32	583495.14	8549448.08
33	583474.21	8549527.14
34	583468.97	8549533.13
35	583615.13	8549653.55
36	583585.12	8549675.76
37	583553.07	8549701.01
38	583523.37	8549722.69

39	583492.19	8549746.35
40	583441.56	8549703.19
41	583375.22	8549649.56
42	583398.71	8549620.81
43	583423.08	8549591.08
44	583447.14	8549560.5
45	583372.15	8549647
46	583337.56	8549617.81
47	583335.12	8549620.71
48	583305.75	8549619.63
49	583296.87	8549619.3
50	583217.77	8549616.37
51	583214.69	8549650.06
52	583331.97	8549655.43
53	583358.62	8549663.26
54	583297.04	8549614.71
55	583258.67	8549594.35
56	583306.02	8549612.3
57	583320.99	8549588.69
58	583275.12	8549563.7
59	583258.18	8549522.81
60	583240.55	8549482.26
61	583226.27	8549449.4
62	583257.21	8549435.9
63	583263.26	8549472.39
64	583329.9	8549611.35
65	583342.88	8549596.31
66	583364.28	8549600.69
67	583368.93	8549595.24
68	583359.66	8549587.08
69	583319.99	8549521.13
70	583346.55	8549488.06
71	583389.7	8549563.96
72	583419.97	8549588.56
73	583395.67	8549618.21
74	583339.26	8549475.23
75	583372.96	8549455.58
76	583419.39	8549538.37
77	583444.01	8549558.01
78	583371.4	8549452.8
79	583317.46	8549360.08
80	583347.2	8549342.69
81	583399.48	8549435.46
82	583401.31	8549438.25
83	583445.41	8549513.61
84	583455.47	8549521.94
85	583466.66	8549531.21
86	583379.85	8549324.78
87	583432.66	8549420.61
88	583466.02	8549507.24
89	583474.46	8549522.3
90	583494.23	8549447.63
91	583515.59	8549419.15
92	583479.62	8549398.11
93	583537.22	8549390.31

94	583469.45	8549350.02
95	583539.89	8549386.76
96	583527.48	8549339.18
97	583524.37	8549339.99
98	583462.9	8549304.46
99	583472.1	8549289.75
100	583477.36	8549290.35
101	583486.32	8549286.99
102	583511.86	8549279.28
103	583540.86	8549391.15
104	583577	8549382.19
105	583559.96	8549318.16
106	583550.99	8549310.82
107	583591.73	8549378.54
108	583612.15	8549371.17
109	583604.54	8549344.78
110	583642.51	8549360.21
111	583643.53	8549310.18
112	583653.27	8549298.47
113	583623.43	8549272.26
114	583675.64	8549271.56
115	583624.06	8549225.41
116	583698.6	8549243.93
117	583658.43	8549208.05
118	583724.39	8549212.9
119	583686.19	8549176.75
120	583734.25	8549201.04
121	583729.76	8549196.9
122	583705.24	8549174.3
123	583731.87	8549194.61
124	583745.67	8549161.83
125	583759.32	8549220.85
126	583761.08	8549218.63
127	583776.11	8549182.93
128	583785.92	8549241.58
129	583787.7	8549240.55
130	583791.87	8549231.96
131	583804.72	8549205.55
132	583857.76	8549261.58
133	583869.54	8549235.53
134	583311.24	8548833.57
135	583261.85	8548791.41
136	583237	8548749.32
137	583299.55	8548847.26
138	583267.55	8548884.76
139	583351.37	8548956.84
140	583514.78	8549097.38
141	583547.59	8549059.02
142	583316.87	8548998.91
143	583400.75	8549069.62
144	583480.8	8549137.11
145	583368.63	8549107.28
146	583447.31	8549176.27
147	583564.25	8549072.27
148	583575.46	8549059.14

## C.1. DATOS FORMATO EPANET

149	583619.01	8549096.32
150	583651.11	8549059.81
151	583686.36	8549019.62
152	583516.86	8548945.59
153	583551.68	8548905.03
154	583585.62	8548865.5
155	583682.08	8548955.69
156	583831.92	8549119.2
157	583620.69	8548824.64
158	583665.88	8548865.53
159	583718.55	8548922.01
160	583867.97	8549086.22
161	583943.25	8549167.68
162	583764.37	8548881.47
163	583913.35	8549045.37
164	583987.14	8549126.57
165	584061.31	8549208.15
166	584112.05	8549263.97
167	584140.84	8549283.4
168	583800.71	8548849.58
169	583947.28	8549013.6
170	584096.35	8549176.49
171	584170.22	8549255.12
172	583200.99	8548606.66
173	583377.05	8548756.46
174	583411.62	8548715.96
175	583446.78	8548674.77
176	583542.54	8548897.26
177	583576.85	8548857.29
178	583611.11	8548817.38
179	583530.12	8548747.11
180	583549.06	8548725.23
181	583630.48	8548767.65
182	583651.66	8548770.14
183	583748.59	8548781.51
184	583751.35	8548778.35
185	583755.84	8548773.2
186	583828.39	8548791.86
187	583808.66	8548841.53
188	583844.3	8548809.4
189	583854.22	8548800.46
190	583928.79	8548819.1
191	583962.63	8548856.22
192	584003.19	8548817.09
193	584044.86	8548776.88
194	584010.78	8548740.27
195	583957.37	8549005.47
196	583992.91	8548973.24
197	584034.75	8548935.31
198	584076.38	8548897.57
199	584120.22	8548857.82
200	584156.59	8548824.85
201	584194.74	8548865.51
202	584149.83	8548978.32
203	584194.54	8548937.64

204	584105.25	8549168.49
205	584140.86	8549136.35
206	584183.21	8549098.13
207	584217.53	8549067.15
208	584252.34	8549330.54
209	584287.86	8549298.4
210	584330.58	8549259.75
211	584363.69	8549229.8
212	583412.84	8549738.72
213	583398.38	8549726.63
214	583403.65	8549717.6
215	583401.15	8549709.11
1	582335.26	8548337.17

[VERTICES]

;ID Línea      Coord X      Coord Y

[LABELS]

;Coord X      Coord Y      Rótulo y Nudo Anclaje

[BACKDROP]

DIMENSIONS    582233.84    8548266.71    584465.11    8549816.81

UNITS          None

FILE

OFFSET                    0                    0

[END]



## **C.2. RESULTADOS FORMATO EPANET**

```

*****
*                               E P A N E T                               *
*                               Análisis Hidráulico y de Calidad           *
*                               para Redes de Distribución de Agua         *
*                               Version 2.0                               *
*                               *                                           *
* Traducción: Grupo REDHISP,UPV      Financ: Grupo Aguas de Valencia *
*****
    
```

Fichero Input: z-03.net

CÁLCULO E

Tabla de Líneas y Nudos:

ID Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m	Diámetro mm
1	1	2	117.70	185.4
2	2	3	96.90	185.4
3	3	4	74.93	180.8
4	4	5	30.45	172.0
5	5	6	30.56	172.0
7	7	8	46.95	185.4
8	8	9	82.43	185.4
9	9	10	84.35	180.8
10	10	11	61.97	172.0
12	12	13	33.33	185.4
13	13	14	51.44	185.4
14	14	15	73.32	180.8
15	15	16	25.37	180.8
17	17	18	86.80	185.4
18	18	19	119.30	185.4
19	19	136	32.02	148.4
20	136	135	48.87	148.4
21	135	134	64.93	148.4
23	134	22	217.00	148.4
24	22	23	112.16	180.8
25	23	24	172.30	180.8
26	24	25	14.87	137.6
27	25	26	27.24	137.6
28	26	27	11.83	137.6
29	27	28	23.19	137.6
30	28	29	32.86	137.6
31	29	30	12.71	144.6
32	30	31	110.70	144.6
33	31	32	77.66	148.4
34	33	34	7.96	148.4
35	34	35	189.37	148.4
36	35	36	36.33	148.4
37	36	37	39.60	58.4
38	37	38	38.45	58.4
39	38	39	38.26	58.4

Tabla de Líneas y Nudos: (continuación)

ID Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m	Diámetro mm
40	39	40	65.31	58.4
41	40	41	85.30	58.4
43	174	175	54.15	102.0
44	175	179	110.40	58.4
45	197	206	220.30	58.4
46	155	156	221.80	58.4
47	156	160	53.72	58.4
48	206	210	218.70	58.4
49	142	143	109.70	69.4
50	143	144	104.70	58.4
51	210	211	44.65	58.4
52	184	185	6.83	148.4
53	195	196	47.98	58.4
54	196	197	56.47	58.4
55	185	186	74.91	148.4
56	178	182	62.26	185.4
58	186	188	23.68	148.4
59	60	61	35.83	58.4
60	70	74	14.76	58.4
61	182	183	97.59	148.4
62	19	20	110.90	83.4
63	183	184	4.20	185.4
64	20	21	217.10	102.0
65	89	85	11.84	69.4
66	72	77	38.87	69.4
67	184	187	85.31	58.4
68	22	21	48.35	69.4
69	165	170	45.93	69.4
70	189	190	76.87	129.8
71	187	195	221.30	58.4
72	194	193	50.02	58.4
73	200	201	55.76	58.4
74	195	204	220.10	58.4
75	141	140	50.48	58.4
76	144	146	51.52	58.4
77	208	209	47.90	58.4
78	179	178	107.20	58.4
79	158	159	76.72	69.4
80	159	160	221.60	83.4
81	160	161	109.30	58.4
82	161	164	56.07	58.4
83	173	174	53.24	102.0
84	174	177	217.40	58.4
85	154	155	132.10	69.4
86	18	172	53.28	185.4
87	172	173	231.20	185.4

Tabla de Líneas y Nudos: (continuación)

ID Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m	Diámetro mm
88	173	176	217.30	58.4
89	153	151	176.80	69.4
90	151	150	53.46	83.4
91	143	145	49.50	58.4
92	145	146	104.60	58.4
93	139	142	54.40	58.4
94	137	138	49.30	58.4
95	138	139	110.60	69.4
96	139	140	215.50	58.4
97	140	144	52.28	58.4
98	137	141	326.10	129.8
99	202	203	60.44	58.4
100	152	150	176.30	102.0
101	150	149	48.62	129.8
102	204	205	47.98	83.4
103	205	206	57.04	129.8
105	160	163	56.20	58.4
106	155	159	54.34	58.4
107	159	162	56.48	58.4
108	152	153	53.45	83.4
109	21	176	53.40	102.0
110	153	154	52.10	83.4
111	176	177	52.67	129.8
112	154	157	53.84	58.4
113	177	178	52.60	148.4
114	199	200	49.09	58.4
115	108	110	32.28	58.4
116	141	147	21.29	129.8
117	148	149	57.26	129.8
118	42	41	37.12	148.4
119	43	42	38.45	148.4
120	45	73	37.18	83.4
121	84	83	13.07	58.4
122	64	46	10.03	58.4
123	48	49	8.89	58.4
124	68	67	12.35	58.4
125	78	75	3.19	58.4
126	82	81	3.34	58.4
127	81	78	33.00	58.4
128	87	82	35.97	58.4
129	91	90	35.60	69.4
130	147	148	17.26	129.8
131	157	158	62.83	129.8
132	97	96	3.22	58.4
133	103	104	37.23	69.4
134	86	80	37.24	58.4

Tabla de Líneas y Nudos: (continuación)

ID Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m	Diámetro mm
135	72	73	38.34	69.4
136	162	168	45.50	58.4
137	168	169	218.53	58.4
138	169	170	222.39	58.4
139	170	171	107.46	58.4
140	171	167	39.42	83.4
141	163	169	43.44	58.4
142	188	189	13.36	148.4
143	207	211	218.70	58.4
144	202	207	111.70	58.4
145	198	202	109.20	58.4
146	192	198	108.80	58.4
147	199	203	109.10	58.4
148	193	199	110.60	58.4
149	192	193	57.91	58.4
150	191	192	56.35	129.8
151	96	95	49.17	58.4
152	188	196	221.20	58.4
153	129	130	9.55	58.4
154	205	209	218.80	58.4
155	125	128	33.72	58.4
156	117	116	53.86	58.4
157	115	114	40.50	58.4
158	209	210	57.61	58.4
159	116	118	40.36	58.4
160	95	103	4.50	69.4
161	100	101	9.57	58.4
162	162	163	221.50	58.4
163	114	116	35.92	58.4
164	63	60	24.76	58.4
165	61	62	33.76	58.4
166	163	164	108.00	69.4
167	112	114	34.99	58.4
168	50	49	79.15	58.4
169	51	50	33.83	58.4
170	164	165	112.00	58.4
171	111	112	15.24	58.4
172	65	66	21.84	58.4
173	64	65	19.87	58.4
174	165	166	75.44	58.4
175	104	107	15.18	58.4
176	37	43	169.20	58.4
177	79	80	34.44	58.4
178	166	167	34.74	58.4
179	95	93	4.44	69.4
180	83	82	87.31	58.4

Tabla de Líneas y Nudos: (continuación)

ID Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m	Diámetro mm
181	85	84	14.53	69.4
182	179	180	28.94	58.4
183	102	96	61.90	58.4
184	113	112	39.71	58.4
185	109	108	27.46	58.4
186	105	104	66.25	58.4
187	106	105	11.60	58.4
188	120	125	31.95	58.4
189	118	120	15.42	58.4
190	110	111	50.03	58.4
191	107	108	21.70	58.4
192	99	100	5.29	58.4
193	98	99	17.36	58.4
194	98	97	71.00	58.4
195	94	93	78.84	58.4
196	92	91	41.67	58.4
197	56	48	7.33	58.4
198	44	43	38.91	148.4
199	85	77	35.10	69.4
200	59	60	44.22	58.4
201	58	59	44.26	58.4
202	57	58	52.23	58.4
203	56	57	27.95	58.4
204	54	49	4.59	58.4
205	55	54	43.43	58.4
206	47	46	3.79	58.4
207	48	47	29.39	58.4
208	52	51	117.40	58.4
209	53	52	27.77	58.4
210	45	53	21.16	58.4
211	213	212	18.85	58.4
212	214	213	10.46	58.4
213	215	214	8.85	58.4
214	212	40	45.69	58.4
215	66	67	7.16	58.4
216	45	46	45.25	58.4
217	69	70	42.41	58.4
218	68	69	76.96	58.4
219	73	67	35.25	58.4
220	38	42	159.90	58.4
221	74	75	39.01	58.4
222	71	70	87.30	58.4
223	72	71	39.01	58.4
224	78	79	107.30	58.4
225	76	75	94.92	58.4
226	77	76	31.49	58.4

Tabla de Líneas y Nudos: (continuación)

ID Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m	Diámetro mm	
227	36	44	179.80	148.4	
228	87	86	109.40	58.4	
229	88	87	92.84	58.4	
230	84	88	18.09	58.4	
231	81	80	106.50	58.4	
232	90	89	77.24	69.4	
233	93	91	36.06	69.4	
234	196	205	220.20	58.4	
235	120	121	6.11	58.4	
236	132	130	72.24	58.4	
237	129	128	2.06	58.4	
238	131	130	29.37	58.4	
239	126	125	2.84	58.4	
240	127	126	38.73	58.4	
241	123	121	3.11	58.4	
242	124	123	35.57	58.4	
243	122	121	33.34	58.4	
244	119	118	52.60	58.4	
245	133	132	28.59	58.4	
246	190	191	50.23	102.0	
247	180	181	91.81	58.4	
248	181	182	21.33	58.4	
249	32	33	81.79	148.4	
250	191	197	107.00	83.4	
251	204	208	218.85	58.4	
6	6	7	Sin Valor	185.4	Válvula
11	11	12	Sin Valor	185.4	Válvula
16	16	17	Sin Valor	185.4	Válvula
22	134	137	Sin Valor	129.8	Válvula
42	41	45	Sin Valor	58.4	Válvula

## Resultados en los Nudos:

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
2	0.00	3107.26	24.94	0.00
3	0.00	3105.01	43.69	0.00
4	0.00	3103.04	66.68	0.00
5	0.00	3102.02	72.04	0.00
6	0.00	3101.00	78.83	0.00
7	0.00	3030.81	10.00	0.00
8	0.00	3029.72	25.05	0.00
9	0.00	3027.80	46.77	0.00
10	0.00	3025.59	69.16	0.00
11	0.00	3023.51	100.80	0.00

## Resultados en los Nudos: (continuación)

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
12	0.00	2931.03	10.00	0.00
13	0.00	2930.25	22.74	0.00
14	0.00	2929.06	34.86	0.00
15	0.00	2927.13	65.64	0.00
16	0.00	2926.46	67.76	0.00
17	0.00	2866.06	10.00	0.00
18	0.17	2864.04	28.09	0.00
19	0.51	2862.39	32.53	0.00
20	1.02	2858.73	32.31	0.00
21	0.68	2856.62	36.62	0.00
22	0.34	2856.44	37.94	0.00
23	1.36	2855.97	46.97	0.00
24	0.00	2855.34	62.22	0.00
25	0.00	2855.14	65.04	0.00
26	0.00	2854.76	72.09	0.00
27	0.00	2854.60	90.60	0.00
28	0.00	2854.28	74.82	0.00
29	0.00	2853.83	58.16	0.00
30	0.00	2853.69	56.02	0.00
31	0.00	2852.49	35.09	0.00
32	0.00	2851.75	34.57	0.00
33	0.00	2850.97	27.80	0.00
34	0.00	2850.89	27.14	0.00
35	0.72	2849.09	11.75	0.00
36	0.72	2848.76	10.91	0.00
37	0.65	2847.68	10.08	0.00
38	0.61	2847.28	10.14	0.00
39	0.44	2847.13	10.78	0.00
40	0.96	2847.03	14.34	0.00
41	0.27	2847.09	20.08	0.00
42	0.68	2847.28	21.97	0.00
43	0.65	2847.48	21.09	0.00
44	0.65	2847.70	22.53	0.00
45	0.20	2841.56	15.00	0.00
46	0.17	2840.51	22.07	0.00
47	0.07	2840.50	21.94	0.00
48	0.10	2840.41	25.19	0.00
49	0.17	2840.41	26.00	0.00
50	0.17	2840.57	37.49	0.00
51	0.24	2840.67	37.49	0.00
52	0.24	2841.22	19.76	0.00
53	0.03	2841.41	14.96	0.00
54	0.00	2840.41	26.42	0.00
55	0.38	2840.38	34.10	0.00
56	0.00	2840.38	25.83	0.00
57	0.20	2840.28	27.58	0.00



## Resultados en los Nudos: (continuación)

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
58	0.00	2840.16	33.31	0.00
59	0.00	2840.06	35.47	0.00
60	0.20	2839.95	34.03	0.00
61	0.17	2839.93	31.93	0.00
62	0.27	2839.91	42.01	0.00
63	0.14	2839.95	39.58	0.00
64	0.00	2840.42	24.28	0.00
65	0.00	2840.26	24.03	0.00
66	0.00	2840.07	20.03	0.00
67	0.17	2840.01	19.99	0.00
68	0.14	2839.72	21.03	0.00
69	0.17	2838.10	31.41	0.00
70	0.44	2837.30	31.66	0.00
71	0.48	2837.56	14.91	0.00
72	0.14	2837.82	11.76	0.00
73	0.10	2840.23	15.40	0.00
74	0.00	2836.93	35.68	0.00
75	0.41	2835.93	35.35	0.00
76	0.51	2836.08	13.79	0.00
77	0.10	2836.23	10.81	0.00
78	0.20	2835.83	36.14	0.00
79	0.14	2835.48	45.60	0.00
80	0.48	2835.40	42.59	0.00
81	0.41	2835.41	28.91	0.00
82	0.48	2835.39	28.43	0.00
83	0.48	2835.32	13.76	0.00
84	0.00	2835.32	12.65	0.00
85	0.00	2835.32	11.77	0.00
86	0.24	2835.37	42.68	0.00
87	0.48	2835.35	29.45	0.00
88	0.07	2835.32	14.68	0.00
89	0.00	2835.00	12.40	0.00
90	0.00	2832.91	16.09	0.00
91	0.07	2831.94	13.79	0.00
92	0.20	2831.93	25.58	0.00
93	0.00	2831.06	13.21	0.00
94	0.61	2830.95	34.16	0.00
95	0.00	2830.98	13.56	0.00
96	0.24	2830.69	25.11	0.00
97	0.00	2830.68	25.35	0.00
98	0.00	2830.60	36.22	0.00
99	0.00	2830.58	35.43	0.00
100	0.00	2830.57	35.03	0.00
101	0.55	2830.56	34.76	0.00
102	0.51	2830.62	33.01	0.00
103	0.00	2830.94	12.71	0.00

## Resultados en los Nudos: (continuación)

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
104	0.00	2830.63	11.69	0.00
105	0.00	2830.58	28.32	0.00
106	0.44	2830.57	29.40	0.00
107	0.00	2830.43	12.18	0.00
108	0.00	2830.14	13.45	0.00
109	0.14	2830.14	20.01	0.00
110	0.00	2829.76	11.90	0.00
111	0.14	2829.17	18.05	0.00
112	0.00	2829.02	16.96	0.00
113	0.17	2829.01	26.55	0.00
114	0.00	2828.73	15.38	0.00
115	0.27	2828.71	29.98	0.00
116	0.00	2828.51	16.12	0.00
117	0.38	2828.48	26.04	0.00
118	0.00	2828.39	18.61	0.00
119	0.20	2828.38	26.61	0.00
120	0.00	2828.36	22.16	0.00
121	0.00	2828.36	23.24	0.00
122	0.07	2828.36	26.60	0.00
123	0.00	2828.36	23.64	0.00
124	0.20	2828.35	28.77	0.00
125	0.00	2828.33	19.58	0.00
126	0.00	2828.33	19.74	0.00
127	0.31	2828.32	27.75	0.00
128	0.00	2828.33	19.12	0.00
129	0.00	2828.33	19.55	0.00
130	0.00	2828.33	21.49	0.00
131	0.10	2828.33	26.09	0.00
132	0.00	2828.33	20.17	0.00
133	0.03	2828.33	25.71	0.00
134	0.51	2858.53	33.70	0.00
135	0.00	2860.24	36.11	0.00
136	0.17	2861.54	35.21	0.00
137	0.51	2842.90	20.00	0.00
138	0.34	2841.86	33.79	0.00
139	0.85	2841.09	21.84	0.00
140	0.68	2840.88	42.34	0.00
141	0.34	2840.97	34.35	0.00
142	0.17	2840.93	31.34	0.00
143	0.51	2840.84	33.01	0.00
144	0.34	2840.83	46.17	0.00
145	0.17	2840.83	47.65	0.00
146	0.17	2840.83	46.98	0.00
147	0.00	2840.86	35.56	0.00
148	0.00	2840.78	34.07	0.00
149	0.20	2840.50	44.69	0.00

## Resultados en los Nudos: (continuación)

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
150	0.41	2840.27	41.78	0.00
151	0.20	2840.01	39.89	0.00
152	0.34	2839.08	19.93	0.00
153	0.72	2838.21	18.60	0.00
154	0.38	2836.73	16.99	0.00
155	0.86	2834.33	28.50	0.00
156	0.24	2833.38	39.49	0.00
157	0.10	2834.63	14.22	0.00
158	0.66	2834.58	18.35	0.00
159	0.78	2833.75	25.47	0.00
160	0.75	2833.23	31.71	0.00
161	0.17	2832.97	29.54	0.00
162	0.58	2833.12	17.81	0.00
163	0.85	2832.90	20.65	0.00
164	0.48	2832.88	15.99	0.00
165	0.17	2832.76	20.76	0.00
166	0.17	2832.75	21.50	0.00
167	0.00	2832.75	20.73	0.00
168	0.34	2833.01	14.24	0.00
169	0.68	2832.85	10.53	0.00
170	0.31	2832.76	12.21	0.00
171	0.17	2832.75	14.72	0.00
172	0.34	2863.96	33.16	0.00
173	1.02	2863.59	37.94	0.00
174	1.60	2862.84	39.11	0.00
175	0.17	2862.65	42.53	0.00
176	0.68	2856.36	36.45	0.00
177	0.68	2856.18	36.16	0.00
178	0.34	2856.03	35.51	0.00
179	0.51	2857.28	36.28	0.00
180	0.00	2857.01	37.15	0.00
181	0.07	2856.14	37.43	0.00
182	0.02	2855.96	37.51	0.00
183	0.00	2855.50	38.64	0.00
184	0.07	2855.50	38.51	0.00
185	0.00	2855.47	38.94	0.00
186	0.10	2855.21	36.21	0.00
187	0.41	2854.44	35.17	0.00
188	0.58	2855.13	35.24	0.00
189	0.00	2855.10	35.39	0.00
190	0.14	2854.78	34.55	0.00
191	0.44	2854.12	32.21	0.00
192	0.31	2854.06	34.39	0.00
193	0.14	2853.27	33.31	0.00
194	0.56	2853.21	33.42	0.00
195	0.68	2852.69	28.20	0.00

## Resultados en los Nudos: (continuación)

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad	
196	1.37	2852.75	25.41	0.00	
197	0.85	2853.21	25.93	0.00	
198	0.65	2852.85	26.84	0.00	
199	0.48	2852.58	30.00	0.00	
200	0.00	2852.57	31.74	0.00	
201	0.17	2852.57	29.12	0.00	
202	0.51	2852.32	20.88	0.00	
203	0.17	2852.38	25.42	0.00	
204	0.68	2851.23	28.70	0.00	
205	1.37	2851.22	22.07	0.00	
206	1.40	2851.22	18.90	0.00	
207	0.35	2851.77	20.46	0.00	
208	0.34	2851.12	30.43	0.00	
209	0.68	2851.12	20.84	0.00	
210	0.58	2851.14	11.77	0.00	
211	0.18	2851.22	10.23	0.00	
212	0.00	2847.03	16.74	0.00	
213	0.00	2847.03	16.89	0.00	
214	0.00	2847.03	16.08	0.00	
215	0.07	2847.03	16.22	0.00	
1	-56.48	3110.00	0.00	0.00	Embalse

## Resultados en las Líneas:

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado
1	56.48	2.09	23.26	Abierta
2	56.48	2.09	23.26	Abierta
3	56.48	2.20	26.29	Abierta
4	56.48	2.43	33.51	Abierta
5	56.48	2.43	33.52	Abierta
7	56.48	2.09	23.25	Abierta
8	56.48	2.09	23.26	Abierta
9	56.48	2.20	26.29	Abierta
10	56.48	2.43	33.51	Abierta
12	56.48	2.09	23.26	Abierta
13	56.48	2.09	23.26	Abierta
14	56.48	2.20	26.29	Abierta
15	56.48	2.20	26.28	Abierta
17	56.48	2.09	23.26	Abierta
18	42.72	1.58	13.87	Abierta
19	33.87	1.96	26.68	Abierta
20	33.70	1.95	26.43	Abierta
21	33.70	1.95	26.43	Abierta
23	19.55	1.13	9.64	Abierta

## Resultados en las Líneas: (continuación)

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado
24	20.80	0.81	4.13	Abierta
25	19.44	0.76	3.65	Abierta
26	19.44	1.31	13.79	Abierta
27	19.44	1.31	13.78	Abierta
28	19.44	1.31	13.79	Abierta
29	19.44	1.31	13.79	Abierta
30	19.44	1.31	13.79	Abierta
31	19.44	1.18	10.84	Abierta
32	19.44	1.18	10.83	Abierta
33	19.44	1.12	9.54	Abierta
34	19.44	1.12	9.57	Abierta
35	19.44	1.12	9.54	Abierta
36	18.72	1.08	8.90	Abierta
37	2.95	1.10	27.27	Abierta
38	1.76	0.66	10.45	Abierta
39	1.06	0.39	4.07	Abierta
40	0.62	0.23	1.50	Abierta
41	-0.41	0.15	0.72	Abierta
43	4.20	0.51	3.47	Abierta
44	4.03	1.51	48.66	Abierta
45	1.62	0.61	9.04	Abierta
46	1.09	0.41	4.30	Abierta
47	0.85	0.32	2.71	Abierta
48	0.28	0.11	0.36	Abierta
49	0.72	0.19	0.86	Abierta
50	0.03	0.01	0.01	Abierta
51	-0.64	0.24	1.61	Abierta
52	11.22	0.65	3.44	Abierta
53	-0.55	0.20	1.20	Abierta
54	-1.54	0.57	8.19	Abierta
55	11.22	0.65	3.45	Abierta
56	11.64	0.43	1.25	Abierta
58	11.12	0.64	3.39	Abierta
59	0.44	0.16	0.81	Abierta
60	2.85	1.07	25.65	Abierta
61	13.21	0.76	4.66	Abierta
62	8.35	1.53	33.01	Abierta
63	13.21	0.49	1.63	Abierta
64	7.33	0.90	9.73	Abierta
65	-4.63	1.22	27.13	Abierta
66	5.78	1.53	40.87	Abierta
67	1.92	0.72	12.33	Abierta
68	-1.59	0.42	3.76	Abierta
69	0.15	0.04	0.05	Abierta
70	8.75	0.66	4.18	Abierta
71	1.51	0.56	7.91	Abierta

## Resultados en las Líneas: (continuación)

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado
72	-0.56	0.21	1.26	Abierta
73	0.17	0.06	0.14	Abierta
74	1.38	0.51	6.66	Abierta
75	0.67	0.25	1.73	Abierta
76	0.16	0.06	0.13	Abierta
77	0.00	0.00	0.00	Abierta
78	1.86	0.69	11.62	Abierta
79	2.82	0.75	10.84	Abierta
80	1.99	0.37	2.33	Abierta
81	0.80	0.30	2.45	Abierta
82	0.63	0.24	1.58	Abierta
83	8.94	1.09	14.06	Abierta
84	3.14	1.17	30.62	Abierta
85	3.73	0.99	18.17	Abierta
86	13.59	0.50	1.66	Abierta
87	13.25	0.49	1.59	Abierta
88	3.28	1.23	33.28	Abierta
89	-2.73	0.72	10.20	Abierta
90	-2.93	0.54	4.75	Abierta
91	0.18	0.07	0.15	Abierta
92	0.01	0.00	0.00	Abierta
93	0.89	0.33	2.96	Abierta
94	2.56	0.96	21.05	Abierta
95	2.22	0.59	6.98	Abierta
96	0.49	0.18	0.97	Abierta
97	0.47	0.18	0.92	Abierta
98	10.57	0.80	5.92	Abierta
99	-0.51	0.19	1.06	Abierta
100	-6.02	0.74	6.76	Abierta
101	-9.36	0.71	4.73	Abierta
102	0.35	0.06	0.10	Abierta
103	0.06	0.00	0.00	Abierta
105	1.29	0.48	5.88	Abierta
106	1.78	0.67	10.72	Abierta
107	1.83	0.68	11.25	Abierta
108	5.68	1.04	16.18	Abierta
109	5.05	0.62	4.89	Abierta
110	7.69	1.41	28.36	Abierta
111	7.66	0.58	3.27	Abierta
112	3.58	1.34	39.07	Abierta
113	10.12	0.58	2.85	Abierta
114	0.17	0.06	0.14	Abierta
115	1.87	0.70	11.73	Abierta
116	9.56	0.72	4.92	Abierta
117	9.56	0.72	4.92	Abierta
118	13.70	0.79	4.99	Abierta

## Resultados en las Líneas: (continuación)

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado
119	14.29	0.83	5.40	Abierta
120	8.71	1.59	35.71	Abierta
121	0.06	0.02	0.00	Abierta
122	-1.56	0.58	8.40	Abierta
123	-0.18	0.07	0.13	Abierta
124	-2.71	1.01	23.35	Abierta
125	-3.09	1.15	29.77	Abierta
126	-1.41	0.53	7.04	Abierta
127	-1.96	0.73	12.75	Abierta
128	-0.51	0.19	1.06	Abierta
129	-4.63	1.22	27.13	Abierta
130	9.56	0.72	4.91	Abierta
131	3.48	0.26	0.76	Abierta
132	-0.55	0.21	1.20	Abierta
133	2.45	0.65	8.35	Abierta
134	-0.45	0.17	0.83	Abierta
135	-7.29	1.93	62.84	Abierta
136	0.77	0.29	2.24	Abierta
137	0.43	0.16	0.75	Abierta
138	0.31	0.11	0.41	Abierta
139	0.15	0.05	0.11	Abierta
140	-0.02	0.00	0.00	Abierta
141	0.56	0.21	1.27	Abierta
142	8.75	0.51	2.18	Abierta
143	0.82	0.31	2.54	Abierta
144	1.17	0.44	4.91	Abierta
145	1.17	0.44	4.90	Abierta
146	1.82	0.68	11.12	Abierta
147	0.68	0.25	1.81	Abierta
148	1.33	0.50	6.25	Abierta
149	2.03	0.76	13.67	Abierta
150	4.16	0.31	1.06	Abierta
151	-1.30	0.49	5.98	Abierta
152	1.79	0.67	10.77	Abierta
153	0.13	0.05	0.09	Abierta
154	0.34	0.13	0.49	Abierta
155	0.13	0.05	0.09	Abierta
156	-0.38	0.14	0.61	Abierta
157	-0.27	0.10	0.32	Abierta
158	-0.34	0.13	0.50	Abierta
159	0.91	0.34	3.09	Abierta
160	2.45	0.65	8.33	Abierta
161	0.55	0.21	1.21	Abierta
162	0.48	0.18	0.96	Abierta
163	1.29	0.48	5.90	Abierta
164	-0.14	0.05	0.10	Abierta

## Resultados en las Líneas: (continuación)

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado
165	0.27	0.10	0.33	Abierta
166	0.36	0.09	0.24	Abierta
167	1.56	0.58	8.39	Abierta
168	0.73	0.27	2.06	Abierta
169	0.90	0.34	3.03	Abierta
170	0.51	0.19	1.07	Abierta
171	1.73	0.65	10.16	Abierta
172	1.56	0.58	8.41	Abierta
173	1.56	0.58	8.40	Abierta
174	0.19	0.07	0.17	Abierta
175	2.01	0.75	13.41	Abierta
176	0.54	0.20	1.19	Abierta
177	0.79	0.30	2.39	Abierta
178	0.02	0.01	0.01	Abierta
179	-3.75	0.99	18.37	Abierta
180	-0.42	0.16	0.74	Abierta
181	-0.11	0.03	0.02	Abierta
182	1.66	0.62	9.42	Abierta
183	-0.51	0.19	1.06	Abierta
184	-0.17	0.06	0.14	Abierta
185	-0.14	0.05	0.10	Abierta
186	-0.44	0.16	0.80	Abierta
187	-0.44	0.16	0.80	Abierta
188	0.44	0.16	0.80	Abierta
189	0.71	0.27	1.95	Abierta
190	1.87	0.70	11.73	Abierta
191	2.01	0.75	13.40	Abierta
192	0.55	0.21	1.24	Abierta
193	0.55	0.21	1.22	Abierta
194	-0.55	0.21	1.22	Abierta
195	-0.61	0.23	1.47	Abierta
196	-0.20	0.07	0.19	Abierta
197	-0.98	0.37	3.57	Abierta
198	14.40	0.83	5.47	Abierta
199	-4.52	1.20	25.95	Abierta
200	0.78	0.29	2.32	Abierta
201	0.78	0.29	2.32	Abierta
202	0.78	0.29	2.33	Abierta
203	0.98	0.37	3.54	Abierta
204	-0.38	0.14	0.58	Abierta
205	-0.38	0.14	0.62	Abierta
206	-0.97	0.36	3.46	Abierta
207	-0.90	0.34	3.02	Abierta
208	1.14	0.43	4.70	Abierta
209	1.38	0.52	6.69	Abierta
210	1.41	0.53	6.96	Abierta



## Resultados en las Líneas: (continuación)

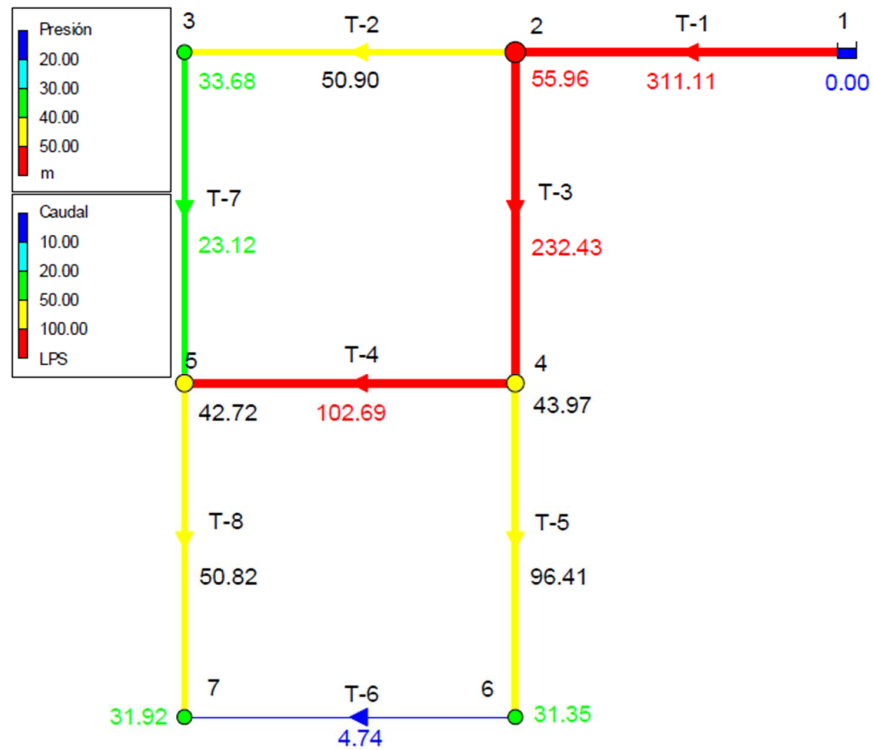
ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado
211	-0.07	0.03	0.02	Abierta
212	-0.07	0.03	0.03	Abierta
213	-0.07	0.03	0.03	Abierta
214	-0.07	0.03	0.03	Abierta
215	1.56	0.58	8.40	Abierta
216	2.70	1.01	23.19	Abierta
217	2.40	0.90	18.66	Abierta
218	2.57	0.96	21.18	Abierta
219	1.32	0.49	6.15	Abierta
220	0.09	0.03	0.04	Abierta
221	2.85	1.07	25.65	Abierta
222	0.89	0.33	2.97	Abierta
223	1.37	0.51	6.60	Abierta
224	0.93	0.35	3.24	Abierta
225	0.65	0.24	1.64	Abierta
226	1.16	0.43	4.81	Abierta
227	15.05	0.87	5.94	Abierta
228	-0.21	0.08	0.20	Abierta
229	-0.24	0.09	0.26	Abierta
230	-0.17	0.06	0.13	Abierta
231	0.13	0.05	0.09	Abierta
232	-4.63	1.22	27.13	Abierta
233	-4.36	1.15	24.27	Abierta
234	1.41	0.53	6.94	Abierta
235	0.27	0.10	0.29	Abierta
236	-0.03	0.01	0.00	Abierta
237	-0.13	0.05	0.00	Abierta
238	-0.10	0.04	0.05	Abierta
239	-0.31	0.12	0.42	Abierta
240	-0.31	0.12	0.42	Abierta
241	-0.20	0.07	0.19	Abierta
242	-0.20	0.07	0.19	Abierta
243	-0.07	0.03	0.03	Abierta
244	-0.20	0.07	0.19	Abierta
245	-0.03	0.01	0.01	Abierta
246	8.61	1.05	13.12	Abierta
247	1.66	0.62	9.42	Abierta
248	1.59	0.59	8.71	Abierta
249	19.44	1.12	9.54	Abierta
250	4.01	0.73	8.51	Abierta
251	0.34	0.13	0.51	Abierta
6	56.48	2.09	70.18	Activa Válvula
11	56.48	2.09	92.48	Activa Válvula
16	56.48	2.09	60.40	Activa Válvula
22	13.64	1.03	15.63	Activa Válvula
42	13.02	4.86	5.53	Activa Válvula

## Apéndice D

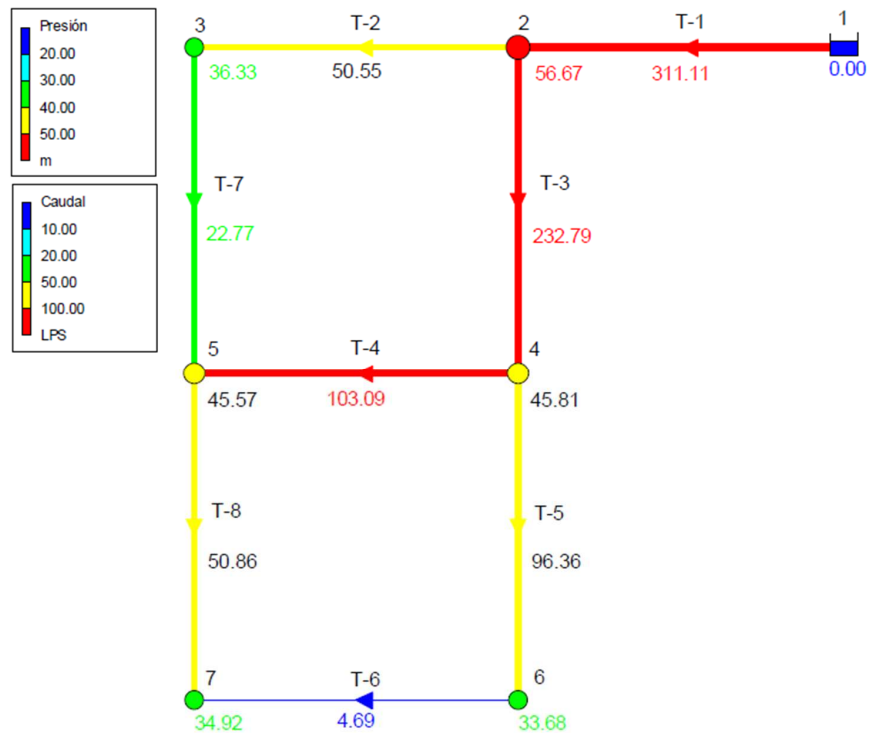
# COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON ECUACIONES DE PERDIDA DIFERENTE

Apéndice D. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON ECUACIONES DE PERDIDA DIFERENTE

A) RESULTADO CON LA ECUACIÓN DE “HAZEN-WILLIAMS”.



B) RESULTADO CON LA ECUACIÓN DE “DARCY-WEISBACH”.



# Apéndice E

## CÓDIGO MATLAB

**CODIGO MATLAB:  
INGRESO DE DATOS**

```

%LECTURA DE DATOS

global GnN GnT GnTC GTP GRUGO GVisc GClsTub GPrsMin GNPrtVel GVelMin
global GVelMax GProbMut GNunIter GLnT GNdI GNdF GCALSE GL GKM GTIP GDIAM GLnN GX GY GZ
global GQsal GVasg GLDiamCom GCdiamComer GCdiamComer1 GCdiamComer2 GCdiamComer3 GLDC2
GLDC3
global GVID GNAAR GNAAB GCNS
global GNCR
clc

%01-DATA
%Optimización Hidráulica de una red
nN=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','01-DATA','C3');
GnN=nN;
nT=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','01-DATA','C4');
GnT=nT;
nTC=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','01-DATA','C5');
GnTC=nTC;

%Perdida de carga: Hazen Williams
TP=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','01-DATA','C7');
GTP=TP;
RUGO=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','01-DATA','C8');
GRUGO=RUGO;
Visc=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','01-DATA','C9');
GVisc=Visc;

%CONDICIONES
ClsTub=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','01-DATA','C12');
GClsTub=ClsTub;
PrsMin=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','01-DATA','C13');
GPrsMin=PrsMin;
NPrtVel=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','01-DATA','C14');
GNPrtVel=NPrtVel;
VelMin=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','01-DATA','C15');
GVelMin=VelMin;
VelMax=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','01-DATA','C16');
GVelMax=VelMax;
ProbMut=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','01-DATA','C17');
GProbMut=ProbMut;
NunIter=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','01-DATA','C17');
GNunIter=NunIter;

%02-TB
%#Tubería
IsEN12=num2str(nT+3);
IsEN11='A3:A';
IitEN11 = strcat(IsEN11,IsEN12);
LnT=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','02-TB',IitEN11);
GLnT=LnT;

%Nudo Inicial
IsEN22=num2str(nT+3);
IsEN21='B3:B';
IitEN21 = strcat(IsEN21,IsEN22);
NdI=xlsread('01_DATA_RED_OPT_MOLle','02-TB',IitEN21);
GNdI=NdI;

%Nudo Final
IsEN32=num2str(nT+3);
IsEN31='C3:C';

```

```

IitEN31 = strcat(IsEN31,IsEN32);
NdF=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','02-TB',IitEN31);
GNdF=NdF;

%Longitud (m)
IsEN42=num2str(nT+3);
IsEN41='D3:D';
IitEN41 = strcat(IsEN41,IsEN42);
L=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','02-TB',IitEN41);
GL=L;

%KM
IsEN52=num2str(nT+3);
IsEN51='E3:E';
IitEN51 = strcat(IsEN51,IsEN52);
KM=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','02-TB',IitEN51);
GKM=KM;

%CLASE
IsEN62=num2str(nT+3);
IsEN61='F3:F';
IitEN61 = strcat(IsEN61,IsEN62);
CALSE=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','02-TB',IitEN61);
GCALSE=CALSE;

%TIPO
IsEN72=num2str(nT+3);
IsEN71='G3:G';
IitEN71 = strcat(IsEN71,IsEN72);
TIP=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','02-TB',IitEN71);
GTIP=TIP;

%DIAM
IsEN82=num2str(nT+3);
IsEN81='I3:I';
IitEN81 = strcat(IsEN81,IsEN82);
DIAM=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','02-TB',IitEN81);
GDIAM=DIAM;

%03-NDS
%#NUDO
IsEN82=num2str(nN+3);
IsEN81='A3:A';
IitEN81 = strcat(IsEN81,IsEN82);
LnN=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','03-NDS',IitEN81);
GLnN=LnN;

%X
IsEN92=num2str(nN+3);
IsEN91='B3:B';
IitEN91 = strcat(IsEN91,IsEN92);
X=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','03-NDS',IitEN91);
GX=X;

%Y
IsEN102=num2str(nN+3);
IsEN101='C3:C';
IitEN101 = strcat(IsEN101,IsEN102);
Y=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','03-NDS',IitEN101);
GY=Y;

```

```

%Z
IsEN112=num2str(nN+3);
IsEN111='D3:D';
IitEN111 = strcat(IsEN111,IsEN112);
Z=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','03-NDS',IitEN111);
GZ=Z;

%CAUDAL DE SALIDA (lps)
IsEN122=num2str(nN+3);
IsEN121='E3:E';
IitEN121 = strcat(IsEN121,IsEN122);
Qsal=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','03-NDS',IitEN121);
GQsal=Qsal;

%Asignacion
IsEN132=num2str(nN+3);
IsEN131='F3:F';
IitEN131 = strcat(IsEN131,IsEN132);
Vasg=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','03-NDS',IitEN131);
GVasg=Vasg;

%04-D_COMER
%Asignacion
IsEN142=num2str(nTC+3);
IsEN141='B3:B';
IitEN141 = strcat(IsEN141,IsEN142);
LDiamCom=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','04-D_COMER',IitEN141);
GLDiamCom=LDiamCom;

%Asignacion CLASE 10
IsEN162=num2str(nTC+3);
IsEN161='C3:C';
IitEN161 = strcat(IsEN161,IsEN162);
CdiamComer=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','04-D_COMER',IitEN161);
GCdiamComer=CdiamComer;

%Asignacion VALVES
IsEN512=num2str(5+2);
IsEN511='A2:A';
IitEN511 = strcat(IsEN511,IsEN512);
VID=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','05-VALVES',IitEN511);
GVID=VID;

IsEN522=num2str(5+2);
IsEN521='B2:B';
IitEN521 = strcat(IsEN521,IsEN522);
NAAR=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','05-VALVES',IitEN521);
GNAAR=NAAR;

IsEN532=num2str(5+2);
IsEN531='C2:C';
IitEN531 = strcat(IsEN531,IsEN532);
NAAB=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','05-VALVES',IitEN531);
GNAAB=NAAB;

IsEN542=num2str(5+2);
IsEN541='F2:F';
IitEN541 = strcat(IsEN541,IsEN542);

```



```

CNS=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Mol1e','05-VALVES',IitEN541);
GCNS=CNS;

%Asignacion rUPTURAS DE PRESION
IsEN612=num2str(nT+3);
IsEN611='H3:H';
IitEN611 = strcat(IsEN611,IsEN612);
N01=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Mol1e','03-NDS',IitEN611);

IsEN622=num2str(nT+3);
IsEN621='I3:I';
IitEN621 = strcat(IsEN621,IsEN622);
N02=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Mol1e','03-NDS',IitEN621);

IsEN632=num2str(nT+3);
IsEN631='J3:J';
IitEN631 = strcat(IsEN631,IsEN632);
N03=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Mol1e','03-NDS',IitEN631);

IsEN642=num2str(nT+3);
IsEN641='K3:K';
IitEN641 = strcat(IsEN641,IsEN642);
N04=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Mol1e','03-NDS',IitEN641);

IsEN652=num2str(nT+3);
IsEN651='L3:L';
IitEN651 = strcat(IsEN651,IsEN652);
N05=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Mol1e','03-NDS',IitEN651);

NCR=[N01 N02 N03 N04 N05];
GNCR=NCR;

msgbox('Culmino el proceso de importación..','Despedida','help')

```

**CODIGO MATLAB:  
GENERACIÓN DE LA  
POBLACIÓN INICIAL**

```

global GnN GnT GnTC GTP GRUGO GVisc GClstTub GPrsMin GNPrtVel GVelMin
global GVelMax GProbMut GNunIter GLnT GNdI GNdF GCALSE GL GKM GDIAM
global GLnN GX GY GZ GQsal GVasg GLDiamCom GCdiamComer GDini GEvalIn
global GNCR
clc
nN=GnN;
nT =GnT ;
nTC =GnTC ; %numero de tuberias comerciales
TP =GTP ;
RUGO =GRUGO ;
Visc =GVisc ;
ClstTub =GClstTub ;
PrsMin =GPrsMin ;
NPrtVel =GNPrtVel ;
VelMin=GVelMin;
VelMax =GVelMax ;
ProbMut =GProbMut ;
NunIter =GNunIter ;
LnT =GLnT ;
NdI =GNdI ;
NdF =GNdF ;
CALSE =GCALSE ;
L =GL ;
KM =GKM ;
DIAM =GDIAM ;

LnN =GLnN ;
X =GX ;
Y =GY ;
Z =GZ ;
Qsal =GQsal ;
Vasg =GVasg ;
LDiamCom =GLDiamCom;
CdiamComer=GCdiamComer;
NCR=GNCR;

PQm3=Qsal./1000;
DcMAX=LDiamCom(nTC);
PD= zeros(nT,1)+DcMAX;
Dm=PD./1000;

[A1 B1]=F_Q_Po( nT, nN, NdI, NdF, Vasg, X, Y, Z, PQm3, Dm, KM, Visc,RUGO, LnT,LnN,2.9,
TP);
Q1=A1(:,3)./1000;
DCAL=((4*Q1)./(2.1*pi()).^0.5;

vr1=[Q1 DCAL];

[A2 B2]=Qdal( nT, nN, NdI, NdF, Vasg, X, Y, Z, PQm3, DCAL, KM, Visc,RUGO, LnT, LnN,
TP, NCR);

[vr2 vr3P vr4]=F_Dcalc(A2, nT, nTC, LDiamCom, CdiamComer, VelMin, VelMax, NPrtVel);

Vv1=[];
Vv2=[];

for i=1:NPrtVel
    Dini=vr3P(:,i)/1000;
    [A B]=Qdal( nT, nN, NdI, NdF, Vasg, X, Y, Z, PQm3, Dini, KM, Visc,RUGO, LnT, LnN,

```

```

TP, NCR);
Pminal=min(B(:,2));
Vminal=min(A(:,5));
Vmax=max(A(:,5));
Costol=vr4(:,i).*L;
B=sum(Costol);
Vv=[i Pminal Vminal Vmax B];
Vv1=[Vv1; Vv];
Vv2=[Vv2 i];
end
Vv2P=Vv2;
vr3=[Vv2P;vr3P];
vr5=Vv1;

[Bw1, kw1 ] = sort(vr5(:,2));
Bw1 = [vr5(kw1), Bw1 ];
VO3=Bw1(:,1);
VO4=vr5(VO3,:);

Zcr01= zeros(nT,NPrVel)+1;
for i=1:NPrVel
    q1i=VO4(i,1);
    q2i=vr3P(:,q1i);
    Zcr01(:,i)=q2i;
end
vr3P1=Zcr01;

VO1=VO4;
[yy1 yy2]=size(VO1);
for i=1:yy1
    ia=yy1-i+1;
    ii=VO1(ia,2);
    if ii<-3000
        VO1(ia,:)=[];
        vr3P1(:,ia)=[];
    else
    end
end
VO1(:,1)=[];

[yy11 yy22]=size(VO1);
Vv10=[];
for i=1:yy11
    Vv10=[Vv10; i];
end
VO2=[Vv10 VO1];
Vv10T=Vv10';
VO3=[ Vv10T; vr3P1/1000];
GDini=VO3;
GEvalIn=VO2;

xlswrite('03_rstPo.xlsx',vr1,'01' );
xlswrite('03_rstPo.xlsx',vr2,'02' );
xlswrite('03_rstPo.xlsx',vr3,'03' );
xlswrite('03_rstPo.xlsx',vr4,'04' );
xlswrite('03_rstPo.xlsx',vr5,'05' );
xlswrite('03_rstPo.xlsx',VO2,'06' );
xlswrite('03_rstPo.xlsx',VO3,'07' );
msgbox('Culmino el proceso..','Despedida','help')

```

# CODIGO MATLAB: **ITERACIÓN**

```

global GnN GnT GnTC GTP GRUGO GVisc GClstTub GPrsMin GNPrtVel GVelMin GVelMax GProbMut
GNunIter GLnT GNdI GNdF GCALSE GL GKM GDIAM GLnN GX GY GZ GQsal GVasg GLDiamCom
GCdiamComer GDini GEvalIn
global GNCR
clc
NCR=GNCR;
nN=GnN;
nT =GnT ;
nTC =GnTC ; %numero de tuberias comerciales
TP =GTP ;
RUGO =GRUGO ;
Visc =GVisc ;
ClstTub =GClstTub ;
PrsMin =GPrsMin ;
NPrtVel =GNPrtVel ;
VelMin=GVelMin;
VelMax =GVelMax ;
ProbMut =GProbMut ;
NunIter =GNunIter ;

LnT =GLnT ;
NdI =GNdI ;
NdF =GNdF ;
CALSE =GCALSE ;
L =GL ;
KM =GKM ;
DIAM =GDIAM ;

LnN =GLnN ;
X =GX ;
Y =GY ;
Z =GZ ;
Qsal =GQsal ;
Vasg =GVasg ;
PQm3=Qsal./1000;

LDiamCom =GLDiamCom;
CdiamComer=GCdiamComer;
Dini=GDini;
EvalIn=GEvalIn;

PrsPox=EvalIn;
DamPox=Dini;

Vv01=[];
for i=1:50
[Z1]=F_ElgIndv(PrsPox,PrsMin)
Vv01=[Vv01; Z1]

[ParCruz] = F_C_Select(DamPox);

[DH2 DC2] = F_C_CRUCE(DamPox,ParCruz,nT,LDiamCom,nTC,ProbMut,CdiamComer);

[VR1 VR2 VR3] =F_C_EvlalH(DH2,DC2,nT, nN, NdI, NdF, Vasg, X, Y, Z, PQm3, KM, Visc
RUGO, LnT,LnN,TP,NCR);

S1 = whos('VR3');
varSize1 = S1.bytes;
if varSize1>0

```

```

[N1 nZ]=size(DamPox);
[vr12 vr22 vr32]=F_PNeg(VR1,VR2,VR3,nT,nZ);

    S2 = whos('vr32');
varSize2 = S2.bytes;

    if varSize2>0

        PrsPox=[PrsPox;vr22];
        DamPox=[DamPox vr32];

        [Vr13 Vr23] = F_OrdCruz(PrsPox,DamPox);

        PrsPox=Vr13;
        DamPox=Vr23;
    else
    end

else
end

if i==50
    [Z1] = F_ElgIndv(PrsPox,PrsMin);
    Vv01=[Vv01;Z1]
else
end
end

PrsPox1=PrsPox;
DamPox1=DamPox;
Vmax=Vv01;

xlswrite('04_rst.xlsx',PrsPox1,'07-P-dep' );
xlswrite('04_rst.xlsx',DamPox1,'08-P-dep' );
xlswrite('04_rst.xlsx',Vmax,'09-P-dep' );
msgbox('Culmino el proceso..','Despedida','help')

```

**CODIGO MATLAB:  
EXPORTAR A EPANET**



```

global GnN GnT GnTC GTP GRUGO GVisc GClstTub GPrsMin GNPrtVel
global GVelMin GVelMax GProbMut GNunIter GLnT GNdI GNdF GCALSE
global GL GKM GTIP GDIAM GLnN GX GY GZ QQsal GVasg
global GLDiamCom
global GVID GNAAR GNAAB GCNS
clc
nN=GnN;
nTt =GnT;
nT=nTt-5;
nTC =GnTC ; %numero de tuberias comerciales
TP =GTP ;
RUGO =GRUGO ;
Visc =GVisc ;
ClstTub =GClstTub ;
PrsMin =GPrsMin ;
NPrtVel =GNPrtVel ;
VelMin=GVelMin;
VelMax =GVelMax ;
ProbMut =GProbMut ;
NunIter =GNunIter ;

LnT =GLnT ;
NdI =GNdI ;
NdF =GNdF ;
CALSE =GCALSE ;
L =GL ;
KM =GKM ;
%DIAM =GDIAM ;
LnN =GLnN ;
X =GX ;
Y =GY ;
Z =GZ ;
Qsal =GQsal ;
Vasg =GVasg ;

LDiamCom =GLDiamCom;
% VALVULAS
VID = GVID;
NAAR =GNAAR;
NAAB =GNAAB;
CNS =GCNS;
%CdiamComer=GCdiamComer;
VKs=(zeros(nT,1)+1)*RUGO;
NVlv=5; %nUMERO DE vALVULAS
GTIP=TIP;
for i=1:nT
    ti=TIP(nT-i+1);
    if ti==1
    else
        LnT(nT-i+1)=[];
        NdI(nT-i+1)=[];
        NdF(nT-i+1)=[];
        L(nT-i+1)=[];
        KM(nT-i+1)=[];
    end
end
end

```

```

%DIAMETRO
    IsEN72=num2str(nTt+2);
    IsEN71='I3:I';
    IitEN71 = strcat(IsEN71,IsEN72);
    DIAM=xlsread('01_DATA_RED_OPT_Molle','02-TB',IitEN71);
    Dini=DIAM;

    VV=[];
    for i=1:nT
        ti=TIP(i);
        if ti==1
            else
                DD=DIAM(i);
                VV=[VV;DD];
                DIAM(i)=[];
            end
        end
    end
    DvAL=VV;
    ALnT=LnT;
    ExEPanet( nT, nN, L, ALnT, NdI, NdF, LnN, X, Y, DIAM, Z, Qsal, VKs, Vasg, TP, VID,
    NAAR, NAAB, CNS, DvAL)

    msgbox('Culmino el proceso..','Despedida','help')

```

**CODIGO MATLAB:  
GRADIENTE HIDRÁULICO**

```

function [VRRR, PFF] = Qdal( NT, NNT, NCI, NCJ, DMAN, CX, CY, Zn, DQd, Diam, DKM, vis4
Ks, PnT, PNNC, TP, NCR)

Zmin=min(Zn);
zdd= zeros(NNT,1)+Zmin;
Z=Zn-zdd;

Zc=Z;
Zc(1,:)=[];

MCZ5=zeros(NT,1);

for i=1:NT;
    MCZ5(i,1)=sqrt((CX(NCJ(i))-CX(NCI(i)))^2+(CY(NCJ(i))-CY(NCI(i)))^2);
end
L1=MCZ5;
L2=round(L1*100)/100;
L=L2;

NCZ1=0;
MCVNS=[];
MCVNN=[];
for i=1:NNT;
    if DMAN(i)==0;
        vt=0;
        MCVNN=[MCVNN i];
    else
        vt=1;
        MCVNS=[MCVNS i];
    end
NCZ1=NCZ1 + vt;
end
NS=NCZ1;
VNS=MCVNS;
VNN=MCVNN;
NN=NNT-NS;

%%%%%%%%%%

MCZ4= zeros(NS,1);
for i=1:NS;
    aq1=Z(VNS(i),1);
    MCZ4(i,1)=aq1;
end
H0=MCZ4;

MCZ5= zeros(NN,1);
for i=1:NN;
    aq1=DQd(VNN(i),1);
    MCZ5(i,1)=aq1;
end
q=MCZ5;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%5
vpq= zeros(NT,1)+2.5;
Q= 0.25*vpq.*(pi()*Diam.^2);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%5

```

```

MCZ1= zeros(NT,NNT);
for j=1:NT
    MCZ1(j,NCI(j))=-1;
    MCZ1(j,NCJ(j))=1;
end
A=MCZ1;

Vsig=zeros(NT,1)+1;
for i=1:NT
    %%%
    [a,b]=min(Q);

    Asgg=[];
    for z=1:NT
        As=A(z,:)*Vsig(z);
        Asgg=[Asgg; As];
    end
    Asg=Asgg;

MCZ2= zeros(NT,NN);
    for j=1:NN;
        for k=1:NT;

            aq=Asg(k,VNN(j));
            MCZ2(k,j)=aq;

        end
    end
A12=MCZ2;
A21=A12';

MCZ3= zeros(NT,NS);
    for j=1:NS;
        for k=1:NT;

            aq1=Asg(k,VNS(j));
            MCZ3(k,j)=aq1;

        end
    end
A10=MCZ3;

if a >= 0
    v=4*Q./(pi()*Diam.^2);
    if TP==1

        Re=abs(v).*Diam/vis;

        x=zeros(NT,1);
        dx=zeros(NT,1)+.5;
        while dx > zeros(NT,1)+.0000000001;
            fx=-2*log10((Ks./(3.7*Diam))+2.51.*x./Re );
            dx=abs(x-fx);
            x=fx;
        end
        xx=fx;
        f=(1./xx).^2;
        hf1=f.*L.*(v.^2)./(Diam*2*9.81);

    else
        hf1=10.674*(Q./Ks).^(1.852).*(L./(Diam.^4.87));
    end
end

```

```

hf=hf1;

hm=(DKM.*v.^2)./(2*9.81);
hfhm=hm+hf;
Alfa=hfhm./(Q.^2);

A11 = diag(Alfa.*Q);
A11T=A11';
N=eye(NT)*2;
I=eye(NT);

c1=(-(A21*((N*A11T)^-1)*A12)^-1);
c21=A21*(N*A11T)^-1;
c22=(A11*Q+A10*H0);
c2=c21*c22;
c3=(c2-(A21*Q-q));
Hi1=c1*c3;

fc1=((I-(N*A11T)^-1*A11)*Q);
fc2=((N*A11T)^-1*( A12*Hi1+A10*H0));

fQ=fc1-fc2;

Q=fQ;

Qsgn=Q./abs(Q);

Vsig=Vsig.*Qsgn;
else
    Q= zeros(NT,1)+abs(Q);
end

end

QF=Q*1000;
VSGF=Vsig;
VF=4*Q./(pi()*Diam.^2);

VRRR=[PhT Diam QF VSGF VF L];
PH0=Hi1-Zc;
PHF0=[100; PH0];

a1=PHF0(7);
NCR1=NCR(:,1);
if a1<10
    PH1=PHF0;
else
    PH1=PHF0-NCR1*a1+NCR1*10;
end

a2=PH1(12);
NCR2=NCR(:,2);
if a2<10
    PH2=PH1;
else
    PH2=PH1-NCR2*a2+NCR2*10;
end

a3=PH2(17);
NCR3=NCR(:,3);

```

```
if a3<10
    PH3=PH2;
else
    PH3=PH2-NCR3*a3+NCR3*10;
end

    a4=PH3(137);
NCR4=NCR(:,4);
if a4<20
    PH4=PH3;
else
    PH4=PH3-NCR4*a4+NCR4*20;
end

    a5=PH4(45);
NCR5=NCR(:,5);
if a5<15
    PH5=PH4;
else
    PH5=PH4-NCR5*a5+NCR5*15;
end
%PNNC(1,:)=[];
PH=PH5;
PFF=[PNNC PH];
end
```



Gudelia Machaca Calle  
ABOGADA - NOTARIA  
HUACUCHO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS INTITULADO: "OPTIMIZACIÓN METAHEURÍSTICA DE LA RED DE AGUA POTABLE MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS", PRESENTADO POR EL SEÑOR BACHILLER Werner Russler PALOMINO ESPINAL.

En el Auditorio, de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Quil (H-218), siendo las 5.15 pm; del día Jueves 04 de marzo del 2018. Se reunieron los miembros del Jurado de Tesis, según RESOLUCIÓN DECAHAL N° 331-2017-FIMGC-D, de fecha 28 diciembre del 2017 - Ayacucho, integrada por: Dr. Ingo Jaime A. HUAMÁN MONTES (Presidente); MSc. Ingo Cristión CASTRO PEREZ (Miembro); MSc. Ingo Jaime L. BARRERA PRADO (Miembro); MSc. Ingo Edmundo CANCHARI GUTIERREZ (Miembro).

Ejerce como Asesor de Tesis el MSc. Ingo Edmundo CANCHARI GUTIERREZ.

La R.D. N° 331-2017-FIMGC-D, de fecha 28-12-17, esta en concordancia a lo establecido en el Plan de Funcionamiento del Primer Programa de Apoyo al Desarrollo de la Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil (I-PADETIC), aprobada en Sesión Ordinaria de Consejo de Facultad y a lo autorizada mediante Resolución de Consejo Universitario N° 353-2016-UHSCU-CU. de fecha 10 de junio de 2016.

Se inició el acto de sustentación de tesis, con la intervención del Sr. Presidente, Dr. Ingo Jaime A. HUAMÁN MONTES, quien se dirigió al Secretario Docente Asst° Juan Carlos SANCHEZ PAREDES y le indicó leer la RESOLUCIÓN DECAHAL N° 331-2017-FIMGC-D, de fecha 28 diciembre del 2017, de la sustentación de Tesis del I-PADETIC, de la Tesis intitulado: "OPTIMIZACIÓN METAHEURÍSTICA DE LA RED DE AGUA POTABLE MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS", Presentado por el Sr. Bachiller Werner Russler PALOMINO ESPINAL.

Acto seguido, al Sr. Presidente, se dirigió, el Sr. Sustentante y le indicó, iniciar con la exposición y por lo cual se le otorgó un tiempo de 40 minutos. Y este se



**CARILLA EN BLANCO**

Inicio a las 5.17 pm. y se se apoyo ~~para~~ el sustentante para dicha exposición, con un proyector multimedia.

Comenzó la exposición, siendo las 5.49 pm, y pese lo cual, se utilizó un tiempo de 32 minutos, y el Sr. Presidente invitó, a los miembros del Jurado, e inició con la ronda de preguntas y estas empezaron, en el siguiente orden: (Se hace presente, que de manera honoraria, el Presidente encarga al Ing. Benítez, <sup>president e jefe de sustentación,</sup>

- 1.- MSc. Ing. Cristóbal CASTRO PÉREZ
- 2.- MSc. Ing. Jaime L. BENDEZÓ PRADO
- 3.- MSc. Ing. Edmundo CANCHARI GUTIÉRREZ
- 4.- Dr. Ing. Jaime A. HUAMÁN MONTES.

A la culminación de la ronda de preguntas, siendo las 6.36 pm; el Sr. Presidente se dirigió al sustentante y público asistente, diciéndole, que se retirara del ambiente (H-218) de forma momentánea, pese que así, de manera república y privada; el Jurado pasó a la evaluación, del trabajo de Tesis.

De acuerdo a lo reglamentado, la evaluación se basa en los siguientes criterios:

- 1.- PRESENTACIÓN DEL TRABAJO.
- 2.- METODOLOGÍA Y APOYE CIENTÍFICO. (CONTENIDO).
- 3.- EXPOSICIÓN.
- 4.- RESPUESTA A PREGUNTAS.

Y la respectiva evaluación individual se muestra en el siguiente

cuadro:

	1°	2°	3°	4°	Promedio
1.- Dr. Ing. Jaime A. HUAMÁN MONTES	16	16	16	16	16
2.- MSc. Ing. Cristóbal CASTRO PÉREZ	16	14	16	14	15
3.- MSc. Ing. Jaime L. BENDEZÓ PRADO	15	16	16	16	16
4.- MSc. Ing. Edmundo CANCHARI GUTIÉRREZ	16	16	16	16	16

PROMEDIO FINAL: DIECISEIS (16)

Seguando el Ato de sustentación, el Sr. Presidente y por intermedio del Secretario Docente, invitó al Sr. Sustentante y público presente, a poder reincorporar al Auditorium, para comunicar el resultado de la evaluación, con la nota promedio final de:

DIECISEIS (16) aprobado.

**CARILLA EN BLANCO**



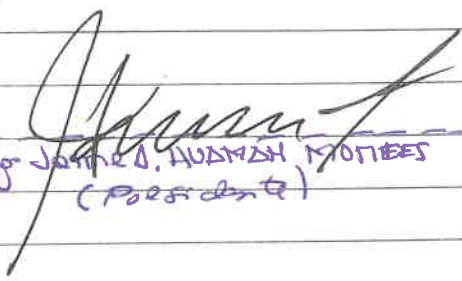


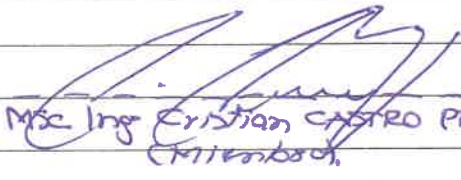
y complementado, diciendo que a la fecha la UNSCH y la FIMGC, cuenta con un nuevo profesional en la especialidad de INGENIERIA CIVIL, a nombre de la Recorridora, asumiendo las obligaciones y responsabilidades, en el ejercicio de su ejercicio profesional.

Con respecto al trabajo de Tesis, este complementado, según las indicaciones, realizadas por los Srs del Jurado y que constan en los formularios de evaluación. Se entregará, en 05 ejemplares y en magnéticos, a la EPIC, que entrará para complementar su biblioteca y en la virtual.

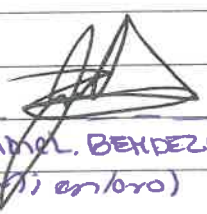
Terminado las 6.45 pm, se da por culminada, el acto de Sustentación de Tesis y firman líneas abajo por su conformidad.

Gudelia Machaca Calle  
ABOGADA - NOTARIA  
AYAÇUCHO

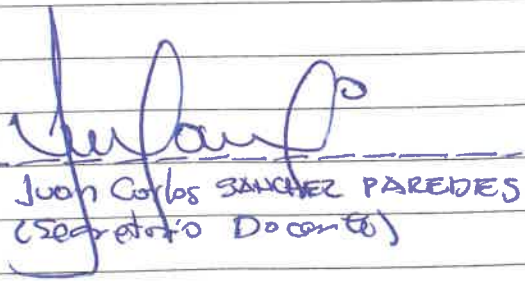
  
Dr. Ing. Juan D. HUAMÁN MONTIEL  
(Presidente)

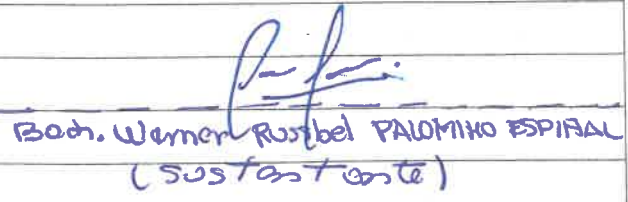
  
MSc. Ing. Cristian CASTRO PAREDES  
(Miembro)



  
MSc. Ing. JOAQUIN BENITEZ PRADO  
(Miembro)

  
MSc. Ing. Edmundo CANCHANI GUTIERREZ  
(Miembro)

  
Srta. Juan Carlos SANCHEZ PAREDES  
(Secretario Docente)

  
Bach. Werner RUBEL PALOMINO ESPINAL  
(Sustentante)

CERTIFICO: Que la presente copia fotostática es  
autentica de su original, que consta de 03  
Fjs. la misma que he tenido a la vista y legalizo,  
Ayacucho, 15 DIC 2021



*Gudelia Machaca Calle*  
Gudelia Machaca Calle  
ABOGADA - NOTARIA  
AYACUCHO



**ESPACIO EN BLANCO**



**UNSCH**

FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### CONSTANCIA N° 009-2023-FIMGC

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 281-2022-FIMGC- UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

**Apellidos y Nombres** : PALOMINO ESPIÑAL, Werner Russbel  
**Escuela Profesional** : INGENIERÍA CIVIL  
**Título de la Tesis** : OPTIMIZACIÓN METAHEURÍSTICA DE LA RED DE AGUA POTABLE MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS  
**Evaluación de la Originalidad** : 11 % Índice de Similitud  
**Identificador de la entrega** : 1995858770

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 20 de enero del 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Firmado  
digitalmente por  
LEZAMA CUELLAR  
CHRISTIAN

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**  
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado

Con depósito para Sustentación y Tramites  
Cc. Archivo

# OPTIMIZACIÓN METAHEURÍSTICA DE LA RED DE AGUA POTABLE MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS

*por* Werner Russbel Palomino Espiñal

---

**Fecha de entrega:** 20-ene-2023 12:41a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1995858770

**Nombre del archivo:** Tesis\_PALOMINO\_ESPINAL,\_Werner\_Russbel\_EPIC.pdf (2.95M)

**Total de palabras:** 31417

**Total de caracteres:** 125615

# OPTIMIZACIÓN METAHEURÍSTICA DE LA RED DE AGUA POTABLE MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS

## INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %

INDICE DE SIMILITUD

11 %

FUENTES DE INTERNET

3 %

PUBLICACIONES

7 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	3 %
2	<a href="http://docplayer.net">docplayer.net</a> Fuente de Internet	1 %
3	<a href="http://repositorio.uniandes.edu.co">repositorio.uniandes.edu.co</a> Fuente de Internet	1 %
4	<a href="http://www.uaeh.edu.mx">www.uaeh.edu.mx</a> Fuente de Internet	1 %
5	<a href="http://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
6	Submitted to UNESCO-IHE Institute for Water Education Trabajo del estudiante	<1 %
7	<a href="http://sistemadeabastecimientojose.blogspot.com">sistemadeabastecimientojose.blogspot.com</a> Fuente de Internet	<1 %
8	<a href="http://sheilatapiero.blogspot.com">sheilatapiero.blogspot.com</a> Fuente de Internet	<1 %



9	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://www.gencat.cat">www.gencat.cat</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://vsip.info">vsip.info</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://riunet.upv.es">riunet.upv.es</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://repositorio.utc.edu.ec">repositorio.utc.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://prezi.com">prezi.com</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://repository.ucatolica.edu.co">repository.ucatolica.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://tesis.ipn.mx">tesis.ipn.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://www.wearewater.org">www.wearewater.org</a> Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego	<1 %

21

[es.wikipedia.org](https://es.wikipedia.org)

Fuente de Internet

<1 %

---

22

[repositorij.uni-lj.si](https://repositorij.uni-lj.si)

Fuente de Internet

<1 %

---

23

[repositorio.unsa.edu.pe](https://repositorio.unsa.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo