



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja.

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL



TEMA:

“DISEÑO ECONÓMICO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA A PRESIÓN POR EL MÉTODO DEL ALGORITMO GENÉTICO”

Autor:

Luis Octavio Palacios Andrade

Director:

Holger M. Benavides Muñoz



Holger M. Benavides Muñoz

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado la tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Civil, realizada por el Profesional en formación: Luis Octavio Palacios Andrade, cuyo título es: “DISEÑO ECONÓMICO PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA A PRESIÓN POR EL MÉTODO DEL ALGORITMO GENÉTICO”; tema que cumple con las características exigidas por la reglamentación de la Escuela de Ingeniería Civil, por tanto, autorizo su presentación.

Holger M. Benavides Muñoz



AUTORÍA

El contenido en general; conceptos, análisis, criterios, y desarrollo del programa es de exclusiva responsabilidad del autor.

Luis Octavio Palacios Andrade



CESIÓN DE DERECHOS

Yo, *Luis Octavio Palacios Andrade*, declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la universidad”.

Luis Octavio Palacios Andrade



AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja, y a sus docentes, quienes me han brindado todo su apoyo en el transcurso de mis estudios.

Al Ingeniero Holger M. Benavides Muñoz, Director de Tesis, por guiarme en la elaboración de este proyecto y por su colaboración científica y técnica para la culminación del presente.

En especial a mis padres que han sido la principal guía en mi desarrollo profesional y siempre me apoyaron en mi vida personal, mis hermanos por brindarme su cariño y estímulo por seguir adelante, mi novia y amigos por estar siempre presentes a lo largo de este periodo.

MUCHAS GRACIAS

El Autor



DEDICATORIA

A Dios, fuente de luz e inspiración.

A mis padres y hermanos, motivo de superación y los principales en mi formación académica, profesional y personal.

A mi novia que ha sido la persona que ha estado a mi lado brindándome su amor y comprensión.

A mis familiares y amigos que siempre me han ofrecido su apoyo y cariño.

Luis Octavio Palacios Andrade

CONTENIDO

	Pág.
CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA	ii
CESIÓN DE DERECHOS	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
CONTENIDO	1
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	
1.1 INTRODUCCIÓN	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 SOLUCIÓN	4
1.4 OBJETIVOS	4
CAPÍTULO II	
CONCEPTOS Y PRINCIPIOS HIDRÁULICOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA A PRESIÓN	
2.1 RED HIDRÁULICA DE DISTRIBUCIÓN A PRESIÓN	6
2.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES	7
2.3 SISTEMA DE ECUACIONES EMPLEADAS	10
2.4 MÉTODOS DE CÁLCULO DE REDES RAMIFICADAS O ABIERTAS	18
2.5 MÉTODO DE I-pai Wu EN EL CÁLCULO DE LA LÍNEA DE GRADIENTE HIDRÁULICO ÓPTIMO ECONÓMICO	20
2.6 MÉTODO DE BÚSQUEDA BINARIA EN LA DIVISIÓN DE LÍNEAS	21
2.7 ALGORITMOS GENÉTICOS (AG)	25
	1



2.8	APLICACIÓN DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS AL DISEÑO ÓPTIMO-ECONÓMICO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA A PRESIÓN	29
CAPÍTULO III		
	MANUAL DEL USUARIO	43
CAPÍTULO IV		
	COMPARACIÓN DE RESULTADOS	
4.1	INTRODUCCIÓN	70
4.2	RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SOTWARE EPANET	70
4.3	RESULTADOS OBTENIDOS POR DERDAP v1.0 POR EL MÉTODO CONVENCIONAL	73
4.4	RESULTADOS OBTENIDOS POR DERDAP v1.0 POR EL MÉTODO DE I-pai WU Y BÚSQUEDA BINARIA	74
4.5	RESULTADOS OBTENIDOS POR DERDAP v1.0 POR EL METODO DE ALGORTIMOS GENÉTICOS (AG)	75
CAPÍTULO V		
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1	CONCLUSIONES	77
5.2	RECOMENDACIONES	78
CAPÍTULO VI		
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	79



CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Las redes de distribución de agua a presión están constituidas por varios elementos (tuberías, válvulas, bombas etc.) que conectados entre sí abastecen la cantidad de agua pretendida a una presión requerida desde la producción (fuente) al consumidor (población).

Esto es posible si se determinan las dimensiones de los elementos que comprenden la red de distribución, principalmente los diámetros que estarán a cargo de distribuir los caudales demandados.

Establecer los diámetros más aptos de las tuberías que integran una red de distribución de agua de cualquier tipo no es un problema directo, el problema se enfoca en el diseño óptimo-económico de los sistemas de distribución de agua a presión.

Algunas de las herramientas actuales permiten un análisis hidráulico confiable de las redes de distribución. Sus aplicaciones permiten analizar redes de distribución de agua, enfocados en sus parámetros hidráulicos, velocidad, caudal y pérdida de carga en las tuberías (presión, altura piezométrica en los nudos).

A pesar de las importantes investigaciones desarrolladas en el campo de diseño, en nuestro medio no contamos con una herramienta que permita obtener un diseño de redes de distribución basado en lo óptimo-económico lo que sugiere la utilización de otras herramientas computacionales que mediante “prueba y error” determinemos al menos la solución más óptima en los diseños.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El diseño óptimo de las redes de distribución de agua permanece como un problema que no se ha resuelto de una manera eficiente debido a su complejidad, sin embargo su utilidad y beneficios lo mantienen como uno de los problemas más importantes dentro de la hidráulica.



El empleo de redes de distribución de agua a presión es común en nuestro entorno y su demanda cada vez mayor, diseñar estas redes es de gran importancia, pues ofrece una ventaja técnica y un análisis matemático previo, que nos proporciona una idea del funcionamiento a futuro del sistema además del coste por construcción. Al diseñar un sistema de distribución a presión se espera que el resultado final para realizar la obra sea lo más seguro, eficiente y económico. Para que este análisis cumpla al menos con dos de estas características (seguro y eficiente) recurrimos a diseños conservadores, y en consecuencia las inversiones por gastos en tubería (principalmente), accesorios, válvulas se elevan de acuerdo a los diámetros y espesores proporcionados en el mercado.

En consecuencia se puede decir, que el problema de diseño óptimo-económico de redes de distribución de agua se centra en la elección de los diámetros como variable principal.

1.3 SOLUCIÓN

Una manera de mejorar los diseños abaratando los costos de construcción por elección de diámetros sin desviarse de la seguridad y eficiencia, sería la utilización de un modelo matemático. El proceso es complejo, sin embargo en la actualidad existen algunos métodos que nos ayudan a optimizar varios aspectos como la elección de los diámetros de las tuberías.

El método de Algoritmos Genéticos, I-pai Wu y Búsqueda Binaria son los métodos que se emplearán en la presente investigación, la cual nos permitirá encontrar una solución óptimo-económica, y servirá de línea base para automatizar el proceso y crear una herramienta computacional.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL:

- Diseñar económicamente redes de distribución de agua a presión por tres diferentes métodos matemáticos.



1.4.2 ESPECÍFICOS:

- Crear una base de datos con tuberías del mercado con sus respectivas características físicas y económicas.
- Analizar el método de pendiente crítica y velocidad máxima, utilizando las ecuaciones propuestas por Hazen-Williams, Darcy-Weisbach y Chezy-Manning para el cálculo de redes ramificadas.
- Aplicar los métodos de I-pai Wu, búsqueda binaria y algoritmo genético a una red propuesta como ejemplo y comparar sus resultados.
- Crear un software académico que permita calcular, analizar y determinar la solución más óptimo-económica en el diseño de redes ramificadas por estos métodos.



CAPÍTULO II

CONCEPTOS Y PRINCIPIOS HIDRÁULICOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA A PRESIÓN

2.1 RED HIDRÁULICA DE DISTRIBUCIÓN A PRESIÓN

Una red hidráulica de distribución a presión es un sistema encargado del transporte y distribución de un fluido (agua), desde los puntos de producción y almacenamiento hasta los de consumo.

El flujo a presión se caracteriza por que el fluido llena completamente la sección de la tubería o conducción y no está en contacto con la presión atmosférica, excluyendo en puntos muy determinados (cuando el fluido es vertido en los puntos de consumo o en la superficie libre de los depósitos).

La red de distribución está constituida por una gran variedad de elementos, pero las tuberías son el componente principal. La tubería es el elemento de la red que permite el transporte del agua. Los componentes restantes actúan como factores de regulación, control, medida, etc.

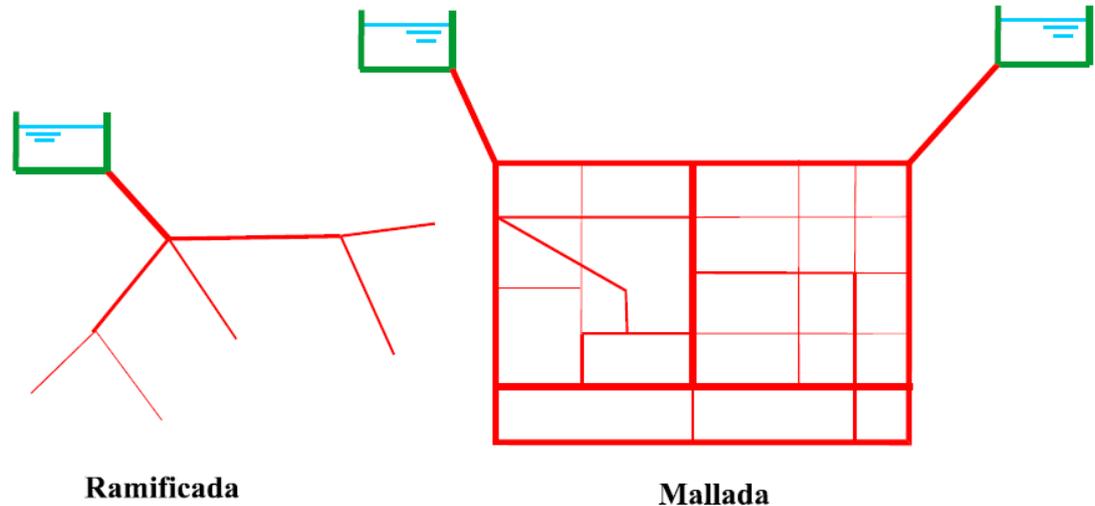
La red hidráulica de distribución a presión se divide en redes ramificadas o abiertas y redes malladas o cerradas.

2.1.1 RED RAMIFICADA.- Se caracteriza por tener forma arborescente, cuyas líneas se subdividen formando ramificaciones. Una red ramificada no posee mallas y dos nudos cualesquiera sólo pueden ser conectados mediante un único trayecto (Fig.II.1-1).

2.1.2 REDES MALLADAS.- Se caracterizan por la existencia de mallas; en una red cerrada puede existir un conjunto de mallas que incluyan a todas y cada una de las líneas de la red, por lo que cualquier par de nudos de ésta puede ser unido por al menos dos trayectos diferentes (Fig.II.1-1).



Fig.II.1-1 Redes malladas y cerradas



Fuente: Agustín Matías Sánchez (2003); Diseño de redes de distribución de agua contemplando la fiabilidad, mediante Algoritmos Genéticos, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. Pág.41

2.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES.

2.2.1 NUDOS.- Punto donde se unen dos o más líneas. Son puntos determinados de la red. Puede tratarse de nudos fuente, nudos de consumo, nudos de entrada/salida (conexión) y nudos terminales de tuberías, válvulas u otros elementos.

2.2.1.1 Nudo fuente.- Cuando un nudo recibe aporte externo de caudal.

2.2.1.2 Nudo consumo.- Es un nudo que aporta caudal al exterior.

2.2.1.3 Nudo de conexión.- Nudo que ni recibe ni aporta caudal al exterior.

2.2.1.4 Nudo terminal.- Nudo donde la red finaliza y además puede aportar caudal al exterior.

2.2.2 LÍNEAS.- Son los elementos que unen los nudos y disipan la energía del fluido tales como tuberías, válvulas, etc., ó también a aquellos elementos que comunican energía al fluido como son las bombas.



2.2.3 TUBERÍA.- Es una porción de la línea que tiene características físicas constantes como diámetro y material que ha sido elaborado.

Las tuberías usadas para las redes de distribución se construyen con diferentes materiales (Cuadro II.2-1). Se tendrán en cuenta criterios económicos y de duración de la vida del tubo considerando la agresividad del interior del agua y en el exterior del medio que la rodea.

Cuadro. II.2-1 Materiales de las Tuberías

Material	Composición	Diámetros usuales	Comportamiento
Fibrocemento	Mezcla acuosa de cemento con fibras de asbesto	Presiones: desde 5 a 30 atms Diámetros: 50 a 1000 mm	Resistentes a la corrosión. Frágiles. Lisas.
Fundición dúctil	Material ferroso con grafito en forma de nódulos esferoidales	Diámetros: 80 a 1000 mm	Necesitan protección interior y exterior. Resistentes.
PVC	Cloruro de polivinilo	Diámetros: 80 a 400 mm	Manejables y resistentes a la corrosión
PE	Polietileno	Diámetros: hasta 500 mm	
PRFV	Poliéster reforzado con fibra de vidrio	Diámetros: vble mm	Deformables. Lisas.
Hormigón armado o pretensado	Hormigón con armaduras	Diámetros: 400 a 2000 mm	Resistentes. Peso.
Acero	Acero	Diámetros: 400 a 3600 mm	Necesitan protección interior y exterior. Resistentes.

Fuente: Agustín Matías Sánchez (2003); Diseño de redes de distribución de agua contemplando la fiabilidad, mediante Algoritmos Genéticos, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. Pág. 37

2.2.4 LÍNEA DE ALTURA GEOMÉTRICA (LAG).- Representa la cota topográfica al eje de cada sección de la conducción con referencia a un plano horizontal (DATUM).

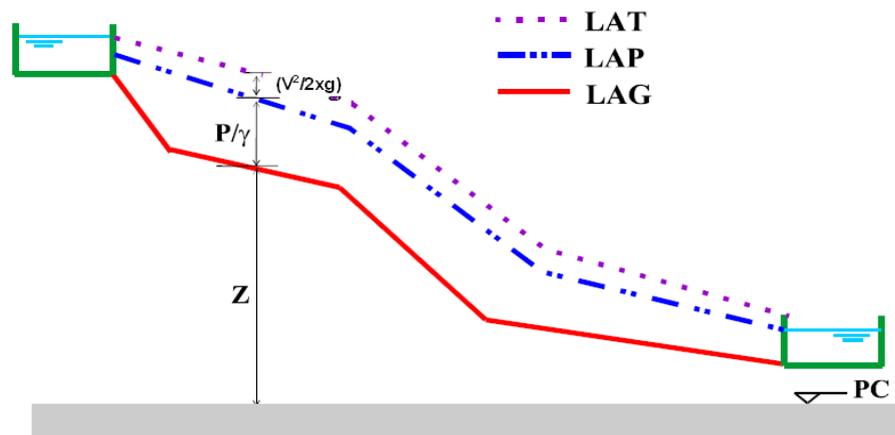
2.2.5 LÍNEA DE ALTURA PIEZOMÉTRICAS (LAP).- Representa la altura piezométrica que resulta de sumar la energía potencial y la altura de presión manométrica en cada sección del flujo, con respecto al plano de referencia.

2.2.6 ALTURA DE PRESIÓN.- Desnivel entre la línea de altura piezométrica y de la línea geométrica en cada sección.

2.2.7 LÍNEA DE ALTURA TOTAL (LAT).- Resultado de sumar la línea de altura piezométrica y el valor de la altura cinética ($V^2 / (2g)$) en cada sección, y representa la energía total específica del flujo.



Fig. II.2-1 Líneas de alturas piezométricas.

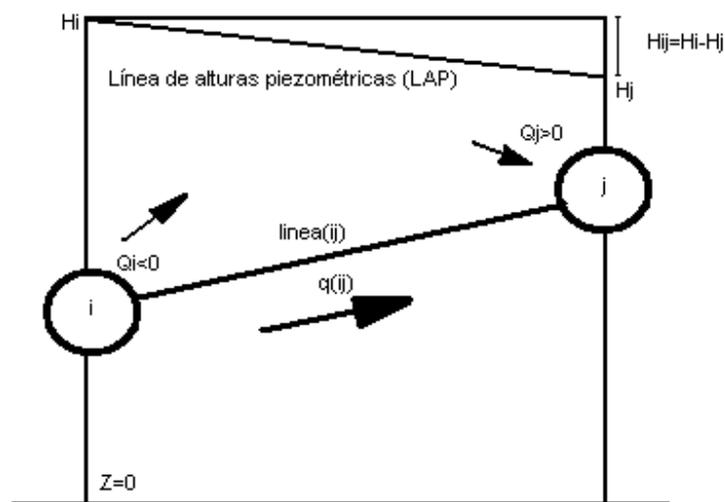


Fuente: Agustín Matías Sánchez (2003); Diseño de redes de distribución de agua contemplando la fiabilidad, mediante Algoritmos Genéticos, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. Pág.22

2.2.8 PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN.- Significa la pérdida de energía que se provoca por la circulación del fluido en la conducción.

2.2.9 PÉRDIDAS DE CARGA UNITARIA O GRADIENTE HIDRÁULICA (J).- Se define cómo la pérdida de carga por cada metro de longitud de la conducción.

Fig.II.2-2 Nomenclatura y criterio de signos, en la que se representa la línea que une los nudos i-j



Fuente: Holger Benavides Muñoz (2006), Hidráulica I, Apuntes de clase.



Donde:

qij- Caudal que circula entre los nudos i-j, considerado como positivo en el caso de la fig. II.2-2 cuando circula desde el nudo i hasta el nudo j.

Qi- Caudal inyectado en el nudo i. Se considera positivo si es entrante (fuente) y negativo si es saliente (consumo).

hij- Pérdida de carga en la línea i-j.

2.3 SISTEMA DE ECUACIONES EMPLEADAS.

2.3.1 ECUACIÓN DE BERNOULLI.- Suponiendo la incompresibilidad del fluido, la energía total específica de un fluido en una determinada sección es la siguiente:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2 \times g} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

z - Cota geométrica del elemento fluido, energía potencial

$\frac{p}{\gamma}$ - Altura de presión manométrica

$\frac{V^2}{2 \times g}$ - Altura cinética, correspondiente a la energía del fluido en movimiento.

Entre dos secciones 1 y 2 de una conducción existen pérdidas por fricción o un aporte de energía, la ecuación de Bernoulli se escribe como:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \times g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \times g} + hf \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde hf toma un valor positivo cuando representa una pérdida de energía.

2.3.2 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD.- Se define como el volumen de agua que circula en una sección por cada unidad de tiempo.



$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}} = A \times V \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

Q - Caudal que circula por la tubería.

A- Área en función del diámetro interno de la tubería

V- Velocidad de circulación del fluido

2.3.3 PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR FRICCIÓN.- Existen numerosas expresiones que relacionan el caudal con la pérdida de carga en las tuberías a presión. Las fórmulas utilizadas en la presente investigación se las detalla a continuación.

2.3.4 DARCY – WEISBACH.- Para una conducción de sección circular y diámetro D la ecuación propuesta por Weisbach es:

$$J = f(\text{Re}, \varepsilon_r) \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{V^2}{2 \times g} \right) \quad (\text{Ec. 4})$$

Ésta ecuación fue alterada por Darcy, y expresada en términos de las pérdidas se presenta así:

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

Donde

f - Factor de fricción.

L - Longitud de la tubería.

D - Diámetro de la tubería.

V - Velocidad de circulación del fluido.

Q - Caudal que circula por la tubería.



2.3.5 FACTOR DE FRICCIÓN (f).- La diferencia principal que aporta la ecuación de Darcy- Weisbach es el valor de fricción (f), haciendo que esta expresión sea posiblemente la más utilizada en la hidráulica aplicada.

Otra manera de encontrar el factor de fricción (f), es con la utilización de la fórmula propuesta por Colebrook-White.

Utilizar la ecuación de Colebrook-White resulta complejo, pero es posible despejar f con un cálculo iterativo de punto fijo, cuyos resultados dependen de los valores de Reynolds (Re) y rugosidad relativa (ϵ_r) del tipo de materia de la tubería.

(Ec. 6)

Donde:

ϵ_r - Rugosidad relativa.

Re - Número de Reynolds.

f - Factor de fricción.

Este proceso iterativo comienza dando un valor inicial a f_0 , que sustituido en la función $G(f)$ proporcionará el siguiente valor estimado en la forma $f_1=G(f_0)$. El proceso continúa sustituyendo f_0 por f_1 hasta que las diferencias entre dos valores sucesivos queden dentro del límite de convergencia.

2.3.6 NÚMERO DE REYNOLDS.- Es un parámetro de semejanza hidrodinámica que relaciona las fuerzas de inercia con las fuerzas de viscosidad.

Para tubos de sección transversal circular, en donde por magnitud lineal característica del flujo puede adoptarse el diámetro (D), el número de Reynolds adquiere la siguiente forma:

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} \quad (\text{Ec. 7})$$



Donde:

Re – Número de Reynolds.

V – Velocidad.

D – Diámetro.

ν – Coeficiente de viscosidad cinemática

Se considera régimen crítico cuando $Re=2300$, flujo laminar cuando $Re<2300$ y flujo turbulento cuando $Re>2300$. (Augustín Matías Sánchez (2003); Diseño de redes de distribución de agua contemplando la fiabilidad, mediante algoritmos genéticos, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia)

2.3.7 COEFICIENTE DE VISCOSIDAD CINEMÁTICA.- Está en función de la temperatura del agua y se mide en cm^2/s (STOKES).

Cuadro.II.3-1 Valores del coeficiente de viscosidad cinemática

**VALORES DEL COEFICIENTE DE VISCOSIDAD CINEMÁTICA
DEL AGUA, EN cm^2/s (STOKES), EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA**

t°	Viscosidad	t°	Viscosidad	t°	Viscosidad
1	0.017321	12	0.012396	26	0.008774
2	0.016740	13	0.012067	28	0.008394
3	0.016193	14	0.011756	30	0.008032
4	0.015676	15	0.011463	35	0.007251
5	0.015188	16	0.011177	40	0.006587
6	0.014726	17	0.010888	45	0.006029
7	0.014289	18	0.010617	50	0.005558
8	0.013873	19	0.010356	55	0.005147
9	0.013479	20	0.010105	60	0.004779
10	0.013101	22	0.009892		
11	0.012740	24	0.009186		

Fuente: José Sánchez Paladines (2006), Mecánica de Fluidos, Apuntes de clase



2.3.8 VALORES DE LA RUGOSIDAD ABSOLUTA EN TUBOS COMERCIALES.

Cuadro.II.3-2 Valores del coeficiente de rugosidad absoluta

<i>Material</i>	<i>ϵ, en mm</i>	
<i>Tubos lisos</i>		
De vidrio, cobre, latón, madera (bien cepillada), acero nuevo soldado y con una mano interior de pintura; tubos de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule	0.0015	
Tubos industriales de latón	0.025	
Tubos de madera	0.2	a 1
Hierro forjado	0.05	
Fierro fundido nuevo	0.25	
Fierro fundido, con protección interior de asfalto	0.12	
Fierro fundido oxidado	1	a 1.5
Fierro fundido, con incrustaciones	1.5	a 3
Fierro fundido, centrifugado	0.05	
Fierro fundido nuevo, con bridas o juntas de macho y campana	0.15	a 0.3
Fierro fundido usado, con bridas o juntas de macho y campana	2	a 3.5
Fierro fundido para agua potable, con bastantes incrustaciones y diámetro de 50 a 125 mm	1	a 4
Fierro galvanizado	0.15	
Acero rolado, nuevo	0.05	
Acero laminado, nuevo	0.04	a 0.1
Acero laminado con protección interior de asfalto	0.05	
<i>Tubos de acero soldado de calidad normal</i>		
Nuevo	0.05	a 0.10
Limpiado después de mucho uso	0.15	a 0.20
Moderadamente oxidado, con pocas incrustaciones	0.4	
Con muchas incrustaciones	3	
Con remaches transversales, en buen estado	0.1	
Con costura longitudinal y una línea transversal de remaches en cada junta, o bien laqueado interiormente	0.3	a 0.4
Con líneas transversales de remaches, sencilla o doble; o tubos remachados con doble hilera longitudinal de remaches e hilera transversal sencilla, sin incrustaciones	0.6	a 0.7
Acero soldado, con una hilera transversal sencilla de pernos en cada junta, laqueado interior, sin oxidaciones, con circulación de agua turbia	1	

Fuente: Sotelo; Hidráulica General, Volumen 1, México. Pág. 285-286



Cuadro.II.3-2 Valores del coeficiente de rugosidad absoluta (Continuación)

<i>Material</i>	<i>ε, en mm</i>	
Acero soldado, con doble hilera transversal de pernos, agua turbia, tuberías remachadas con doble costura longitudinal de remaches y transversal sencilla, interior asfaltado o laqueado	1.2	a 1.3
Acero soldado, con costura doble de remaches transversales, muy oxidado. Acero remachado, de cuatro a seis filas longitudinales de remaches, con mucho tiempo de servicio	2	
<i>Tubos remachados, con filas longitudinales y transversales</i>		
a) Espesor de lámina < 5 mm	0.65	
b) Espesor de lámina de 5 a 12 mm	1.95	
c) Espesor de lámina > 12 mm, o entre 6 y 12 mm, si las hileras de pernos tienen cubrejuntas	3	
d) Espesor de lámina > 12 mm con cubrejuntas	5.5	
Tubos remachados, con cuatro filas transversales y seis longitudinales con cubrejuntas interiores	4	
Asbesto-cemento nuevo	0.025	
Asbesto-cemento, con protección interior de asfalto	0.0015	
Concreto centrifugado, nuevo	0.16	
Concreto centrifugado, con protección bituminosa	0.0015	a 0.125
Concreto en galerías, colado con cimbra normal de madera	1	a 2
Concreto en galerías, colado con cimbra rugosa de madera	10	
Concreto armado en tubos y galerías, con acabado interior cuidadosamente terminado a mano	0.01	
Concreto de acabado liso	0.025	
Conductos de concreto armado, con acabado liso y varios años de servicio	0.2	a 0.3
Concreto alisado interiormente con cemento	0.25	
Galerías con acabado interior de cemento	1.5	a 1.6
Concreto con acabado normal	1	a 3
Concreto con acabado rugoso	10	
Cemento liso	0.3	a 0.8
Cemento no pulido	1	a 2
Concreto presforzado Freyssinet	0.04	
Concreto presforzado Bona y Socoman	0.25	
Mampostería de piedra, bien junteada	1.2	a 2.5
Mampostería de piedra rugosa, sin juntear	8	a 15
Mampostería de piedra, mal acabada	1.5	a 3

Fuente: Sotelo; Hidráulica General, Volumen 1, México. Pág. 285-286



2.3.9 HAZEN – WILLIAMS.- La fórmula de Hazen–Williams es una de las más populares para el diseño y análisis de sistemas hidráulicos.

Hazen – Williams adopta la siguiente forma para el cálculo de pérdidas por fricción, siendo C el coeficiente que depende de la rugosidad del tubo. (Cuadro.II.3-3)

$$hf = \frac{10.646 \times L}{D^{4.87037}} \times \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.85185} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

hf - Pérdidas de carga por longitud.

L - Longitud de la tubería.

D - Diámetro de la tubería.

Q - Caudal que circula por la tubería.

C - Coeficiente de Hazen.

Cuadro.II.3-3 Valores del Coeficiente C para la fórmula de Hazen-Williams

Tipo de tubería	C
Asbesto cemento	140
Latón	130-140
Ladrillo para alcantarillas	100
Hierro colado	
Nuevo, sin revestir	130
Viejo sin revestir	40-120
Revestido de cemento	130-150
Revestido de esmalte bitumástico	140-150
Cubierto de alquitrán	115-135
De concreto o revestido de concreto	
Cimbras de acero	140
Cimbras de madera	120
Centrifugado	135
Cobre	130-140
Manguera de incendio (recubierta de hule)	135
Hierro galvanizado	120
Vidrio	140
Plomo	130-140
Plástico	140-150
Acero	
Revestido de alquitrán de hulla	145-150
Nuevo, sin revestir	140-150
Remachado	110
Estaño	130
Barro vidriado	100-140

Fuente: Andrew L. Simon (1986); Hidráulica Práctica, 1ª Edición, México.Pág.78

2.3.10 CHÉZY – MANNING

LA ECUACIÓN DE CHÉZY.- El ingeniero francés Antoine Chézy en 1769, desarrolla la primera ecuación de flujo uniforme, que se expresa como:

$$V = C \times \sqrt{R \times S} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

V – Velocidad media.

R – Radio hidráulico.

S – Pendiente de la línea de energía.

C – Factor de la resistencia al flujo, conocido como C de Chézy.

LA ECUACIÓN DE MANNING.- El ingeniero Irlandés Robert Manning en 1889 mostró una ecuación la cual modifica la ecuación de Chezy. El factor n es el coeficiente que depende del tipo de material que está compuesto la tubería.

$$hf = \frac{40^{10/3} \times n^2 \times L}{\pi^2 \times D^{16/3}} \times (Q^2) \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

hf - Pérdidas de carga por longitud.

n – Coeficiente de Manning.

L - Longitud de la tubería.

D - Diámetro de la tubería.

Q - Caudal que circula por la tubería.

Hoy en día esta ecuación es poco utilizada por tener un criterio muy conservador.

Los valores del coeficiente de Manning (n) que se utilizan en la presente investigación están expuestos en el libro de Sotelo; Hidráulica General, Volumen 1, México. Pág. 295



2.4 MÉTODOS DE CÁLCULO DE REDES RAMIFICADAS O ABIERTAS.

2.4.1 MÉTODO DE PENDIENTE CRÍTICA O PENDIENTE UNIFORME.- Consiste en conseguir que todas las tuberías tengan igual pendiente hidráulica.

Para esto se procede primeramente a encontrar el nudo más crítico de la red, este nudo se identifica como el más lejano y cuya exigencia de presión es la más elevada.

Se calcula la pendiente disponible al nudo más crítico con la siguiente fórmula:

(Ec. 11)

Donde:

$j_{disponible}$ - Pendiente hidráulica disponible.

Hc - Cota del nudo fuente. Normalmente es la superficie libre del depósito, o la altura de impulsión de una bomba

Zi - Cota del nudo

$\frac{P_{min}}{\gamma}$ - Presión manométrica mínima requerida.

$\sum L_j$ - Longitud recorrida desde el nudo fuente.

Calculamos diámetros teóricos para las líneas del trayecto crítico. Esto lo conseguimos despejando el diámetro de la Ec.5, Ec.8 y Ec.10 propuestas anteriormente. Seguidamente normalizamos el diámetro al comercial más cercano.

Luego se realiza los cálculos de las pérdidas por fricción para comprobar si la presión en cada nudo es la requerida, así como el cumplimiento de las velocidades en cada tramo o línea.



2.4.2 MÉTODO DE VELOCIDAD MÁXIMA.- Consiste en que todas las tuberías tengan un diámetro que permita que la velocidad con la que circula el fluido no sea superior a una velocidad máxima de diseño impuesta.

Con velocidades inferiores a 0.5 m/s se corre un riesgo de sedimentación y con velocidades entre 2.5 a 3 m/s se tiende a la generación de fenómenos transitorios, lo cual hay que tener muy en cuenta en el cálculo hidráulico.

Además como opción se puede identificar la velocidad máxima que puede circular en el fluido a través de la tubería por la propuesta de MOUGNIE:

$$V_{\max} = 1.5\sqrt{D + 0.05} \quad (\text{Ec. 12})$$

$$Q_{\max} = \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \right) \times (\sqrt{D + 0.05}) \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

D - Diámetro de la tubería.

V_{\max} - Velocidad máxima de circulación del fluido.

Q_{\max} - Caudal máximo que circula por la tubería.

Calculamos diámetros teóricos para cada trayecto en base a la fórmula de continuidad cuya velocidad será la máxima permitida.

$$D_{\text{teor}} = \sqrt{\frac{4 \times Q_i}{\pi \times V_{\max}}} \quad (\text{Ec.14})$$

Donde:

D_{teor} - Diámetro teórico de la tubería.

V_{\max} - Velocidad máxima de circulación del fluido.

Q_i - Caudal que circula por la tubería i.

Seguidamente se regularizan los diámetros al inmediato superior comercial más cercano.

A continuación se realiza los cálculos de las pérdidas respectivas por fricción para comprobar si la presión en cada nudo es la requerida, así como el cumplimiento de las velocidades en cada tubería.

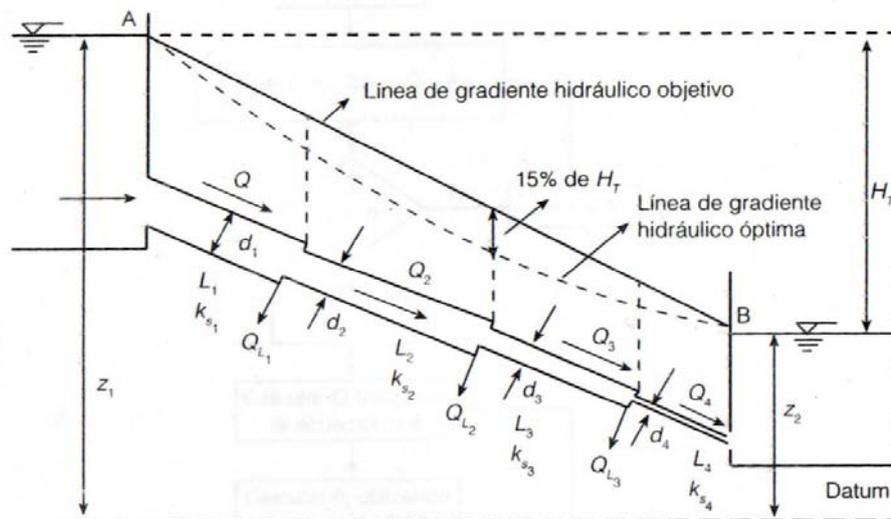
2.5 MÉTODO DE I-pai Wu EN EL CÁLCULO DE LA LÍNEA DE GRADIENTE HIDRÁULICO ÓPTIMO ECONÓMICO.

(Resumido de: Juan G. Saldarriaga V (1998); *Hidráulica de Tuberías*, 1998. Pág.208-217)

El método de I-pai Wu (1975) originalmente desarrollado para sistemas de riego a presión ha probado ser óptimo en el diseño de tuberías en serie.

I-pai Wu comprobó que en una sucesión de n tuberías distribuidas en serie con sus respectivos caudales, el costo es mínimo cuando la línea de gradiente hidráulico forma una curva cóncava hacia arriba con una flecha del 15% en el centro con respecto a la línea recta que une las cabezas al inicio y al final de la serie de tuberías. (Fig.II.5-1)

Fig.II.5-1 Criterio de I-pai Wu. La línea de gradiente hidráulico óptimo-económico forma una curva cóncava hacia arriba con una flecha del 15% de la cabeza total disponible en el centro y con respecto a la línea recta AB.



Fuente: Juan G. Saldarriaga V (1998); *Hidráulica de Tuberías*. Pág.208

También demostró que si se utilizaba como línea de gradiente hidráulico objetivo la línea recta AB, el efecto sobre los costos era inferior al 2% respecto al óptimo-económico.

Al incluir la pendiente promedio de cada una de las tuberías de la serie, éste muestra que la pérdida de energía que puede ser gastada por la tubería i de la cadena es:



$$hf_i = H_T \times \frac{L_i \times \cos \theta_i}{\sum_{j=1}^n L_j \times \cos \theta_j} \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

hf - Pérdidas de carga por longitud.

H_T - Diferencia de cotas entre cabezas inicial y final.

L_i - Longitud de cada tramo.

θ_i - Ángulo de la pendiente promedio de la tubería k con respecto a la horizontal k = (i,j)

2.6 MÉTODO DE BÚSQUEDA BINARIA EN LA DIVISIÓN DE LÍNEAS.

(Resumido de Juan G. Saldarriaga (2007); *Hidráulica de tuberías, Abastecimiento de aguas, redes, riegos, Alfaomega Bogotá*. Pág. 254-264.)

Al diseñar una tubería simple el diámetro proporcionado por el cálculo preliminar permite que por él circule un caudal mayor al de diseño. Esto se debe a que los diámetros están establecidos en ciertas medidas comerciales y difícilmente un diámetro comercial coincide con el resultado del cálculo.

Una alternativa de optimización, es la división de una tubería en dos tuberías en serie.

Como objetivo de este nuevo diseño es seleccionar las longitudes de estas dos tuberías, de tal forma que consuma toda la energía disponible sin tener que implicar otro accesorio.

Primeramente se debe cambiar la tubería simple diseñada de longitud L, por dos tuberías en serie, de forma que se cumpla la siguiente ecuación:

$$L = L_1 + L_2 \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde:

L_1 - Longitud de la tubería aguas arriba.

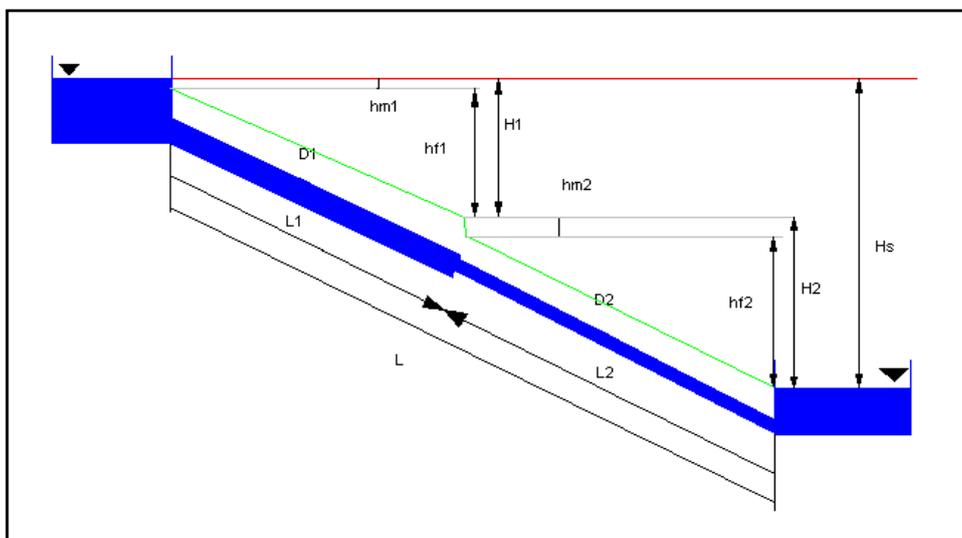
L_2 - Longitud de la tubería aguas abajo.

El diámetro de diseño ($D_{\text{diseño}}$) es el diámetro resultado del diseño de la tubería simple, D_1 es el diámetro de la tubería aguas arriba y D_2 es el diámetro de la tubería aguas abajo, se debe cumplir que:

$$D_1 = D_{\text{diseño}}$$

$$D_2 < D_{\text{diseño}}$$

Fig.II.6-1 Esquema de tuberías en serie



Fuente: Adaptado de Juan G. Saldarriaga (2007); Hidráulica de tuberías, Abastecimiento de aguas, redes, riegos, Alfaomega Bogotá. Pág. 255

Primeramente se necesita comprobar si es necesario cambiar la tubería simple a dos tuberías en serie.

Para ello se comprueba si existe una diferencia significativa entre el caudal de diseño y el máximo caudal que puede pasar por la tubería. Si esta diferencia es apreciable dividimos la tubería, caso contrario se utiliza el diseño original.



Juan G. Saldarriaga (2007), nos proporciona un criterio recomendable; que si ésta diferencia es superior al cinco por ciento (5%), se debe proceder al cambio de diseño, teniendo en cuenta que el material de las tuberías debe ser el mismo de la tubería original.

$$\left| \frac{Q_m - Q_D}{Q_D} \right| \leq \% \text{Caudal}$$

Porcentaje de caudal recomendado para división: **%Caudal** = 5%.

Para determinar la longitud de cada una de las nuevas tuberías se aplica el método matemático de Búsqueda Binaria. (JUAN G. SALDARRIAGA 2007).

Aplicando este método se define el espacio de búsqueda para la primera iteración de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} L_{\min} &= 0 \\ L_{\max} &= L \end{aligned}$$

Para la primera iteración, se definen las longitudes de cada una de las nuevas tuberías, para esa primera iteración (Tabla II.6-1), con la ecuación:

$$L_1 = \frac{(L_{\min} + L_{\max})}{2} \quad (\text{Ec. 17})$$

$$L_2 = L - L_1 \quad (\text{Ec. 18})$$

Seguidamente se calculan las pérdidas de carga por longitud hf_1 y hf_2 para cada una de ellas. La pérdida total por la serie es la suma de pérdidas de carga de las dos tuberías (H_s). (Tabla II.6-1)

$$H_s = hf_1 + hf_2 \quad (\text{Ec.19})$$

Donde:

H_s – Pérdida de carga total de las dos tuberías en serie.

hf_1 y hf_2 – Pérdidas de carga de la tubería 1 y 2.



A continuación se compara H_s con la energía inicial total disponible para mover el caudal de diseño. (Tabla II.6-1)

$$\Delta H = H_s - H$$

Si la diferencia no es significativa el proceso puede parar y los resultados serían los diámetros y las longitudes definidas en esta iteración. Si la diferencia entre las dos alturas es considerable se debe continuar con el proceso iterativo.

Para definir los nuevos límites de cada nueva iteración se realiza lo siguiente:

Ver Tabla II.6-1

Si $H_s > H$

Entonces:

$$\begin{aligned} L_{\min} &= l_{1i} \\ L_{\max} &= L_{\max i} \end{aligned} \quad (\text{Ec. 20})$$

Si $H_s < H$

Entonces:

$$\begin{aligned} L_{\min} &= l_{\min i} \\ L_{\max} &= L_{1i} \end{aligned} \quad (\text{Ec. 21})$$

Una vez definidos los nuevos límites se repite el proceso hasta encontrar el valor deseado para L_1 cuando la diferencia entre H_s y H llegue a un valor de convergencia.

En el ejemplo de la Tabla II.6-1 se muestra el proceso de división, los datos preliminares son los expuestos en el mismo, siendo H la máxima pérdida que debe ser alcanzada. El cálculo de las pérdidas se realizó con la fórmula de Hazen-Williams.

En la novena iteración se muestra que $H = H_s$, quiere decir que la diferencia de alturas es cero; por tanto, el proceso termina. Esta última iteración proporciona los resultados óptimos para el diseño.



Tabla.II.6-1. Tabla del proceso iterativo en la sustitución de una tubería simple por dos en serie

Datos	$\left \frac{Q_m - Q_D}{Q_D} \right \leq \% \text{Caudal}$											
H=	4,865499 m											
Lt=	800 m	145,86	<=	5	No cumple							
Qd=	0,023 m ³ /s											
D1=	200 mm											
CH=	150 H-W											
Vmax=	1,8 m/s											
Qm=	0,056549 m ³ /s											
Proceso de división												
	Num	Lmin	Lmax	D1	D2	L1	L2	Hf1	Hf2	Hs		
	1	0	800	200	150	400	400	0,933	3,788	4,721		
	2	0	400	200	150	200	600	0,466	5,681	6,148		
	3	200	400	200	150	300	500	0,700	4,734	5,434		
	4	300	400	200	150	350	450	0,816	4,261	5,077		
	5	350	400	200	150	375	425	0,875	4,024	4,899		
	6	375	400	200	150	387,5	412,5	0,904	3,906	4,810		
	7	375	387,5	200	150	381,25	418,75	0,889	3,965	4,854		
	8	375	381,25	200	150	378,13	421,88	0,882	3,995	4,877		
	9	378,13	381,25	200	150	379,69	420,31	0,886	3,980	4,865		

Fuente: El autor

2.7 ALGORITMOS GENÉTICOS (AG)

Son métodos basados en el proceso genético de los organismos vivos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización.

Los algoritmos genéticos son capaces de evolucionar e ir creando soluciones óptimas de un problema. Esta optimización depende de una adecuada codificación.

Se basan en la explotación de un espacio de soluciones a partir de un conjunto de posibles soluciones dispuestas aleatoriamente (población), de forma que mediante una serie de operaciones se generan sucesivas poblaciones que mejoren la aptitud de las anteriores.



2.7.1 TERMINOLOGÍA Y OPERADORES DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS

Los AG utilizan un vocabulario prestado de la genética natural. A continuación se presentan algunos términos que se utilizan en los AG.

Cuadro.II.7-1 Terminología utilizada en AG

NATURALEZA	SISTEMA ARTIFICIAL
Cromosoma	Cadena de caracteres
Gen	Característica, carácter
Alelo	Valor de la característica
Locus	Posición de la cadena
Genotipo	Estructura
Fenotipo	Conjunto de parámetros
Población	Conjunto de individuos, fenotipos

Fuente: Gomes Pimentel Heber; Pérez García Rafael (2007); Abastecimento de agua o estado da arte e técnicas avançadas, editorial Universit UFPB.Pág.243

2.7.2 INDIVIDUOS

Son los que forman una población, también denominados genotipos, estructuras, cadenas o cromosomas.

Están compuestos de unidades llamadas también genes, ordenados sucesivamente; cada gen controla la herencia de uno o varios caracteres. Cada estado del gen se denomina alelo (valor característico), y se representan en código binario.

Cada individuo representará una posible solución del problema.

2.7.3 POBLACIÓN

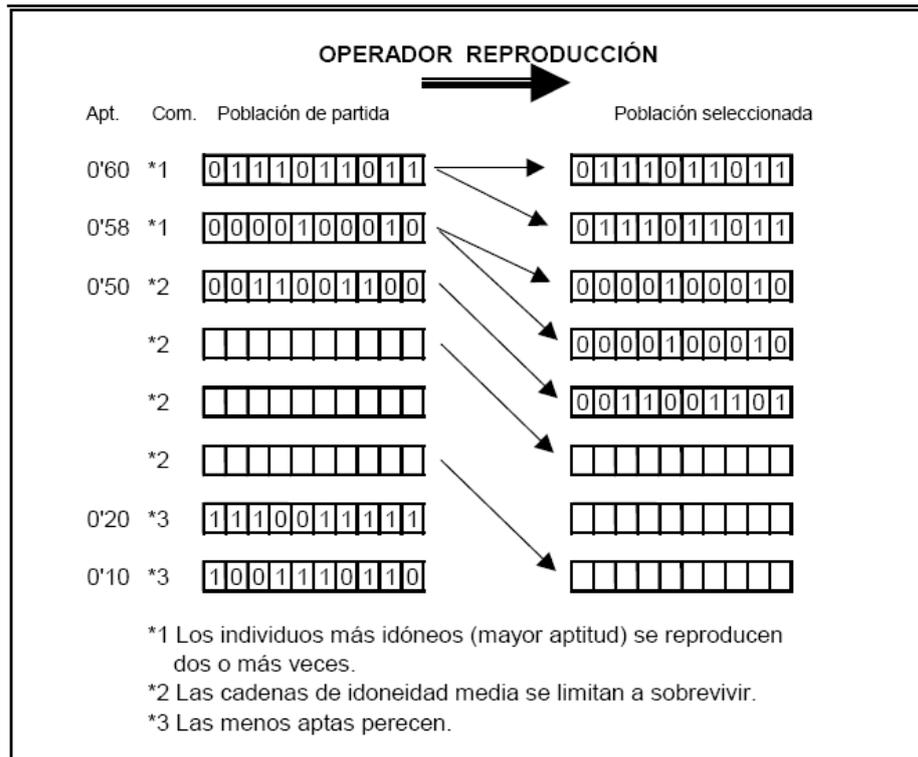
La población es un conjunto finito de individuos.

Para conseguir una evolución de la población inicial hacia nuevas poblaciones cuya aptitud sea cada vez mayor, el AG utiliza tres operadores básicos: reproducción, cruzamiento y mutación.

2.7.4 SELECCIÓN

Tiene la función de escoger los individuos de una población que poseen una mayor aptitud.

Fig.II.7-1 Reproducción



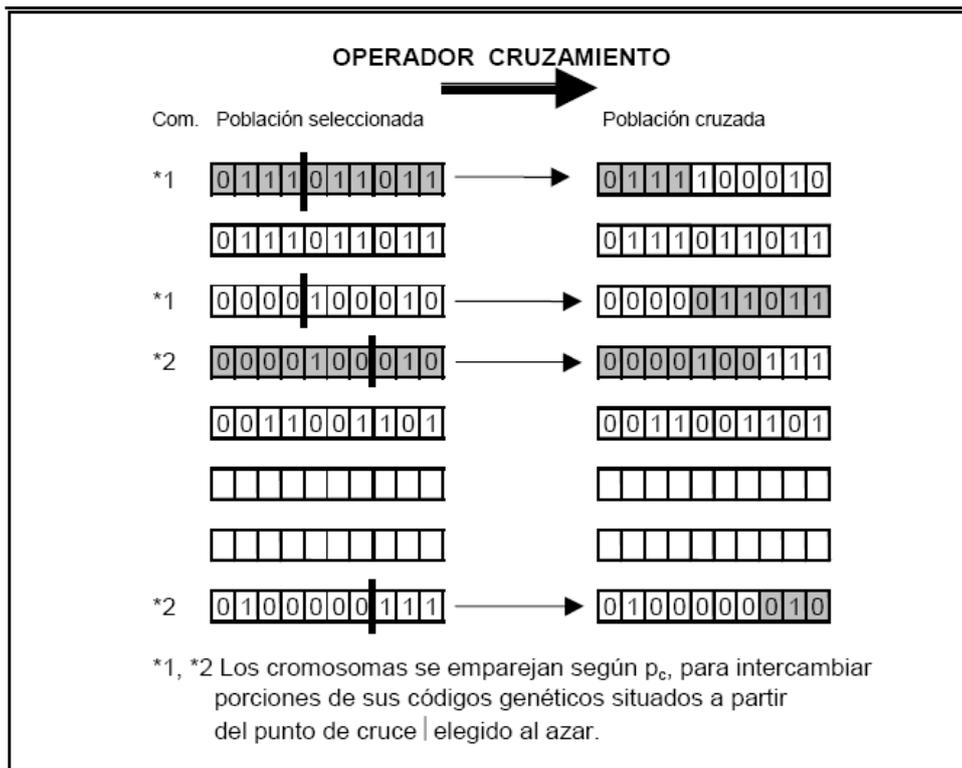
Fuente: Augustín Matías Sánchez (2003); Diseño de redes de distribución de agua contemplando la fiabilidad, mediante Algoritmos Genéticos, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. Pág.132

2.7.5 CRUZAMIENTO

Después de haber seleccionado los individuos de una población de acuerdo a su aptitud, se emparejan aleatoriamente estos individuos, combinando los genes de cada pareja para obtener dos nuevos individuos hijos.

Generalmente se eligen los individuos a cruzar mediante una probabilidad de cruzamiento p_c . También la posición del intercambio de genes se puede elegir de forma aleatoria.

Fig.II.7-2 Cruzamiento



Fuente: Agustín Matías Sánchez (2003); Diseño de redes de distribución de agua contemplando la fiabilidad, mediante Algoritmos Genéticos, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. Pág.133

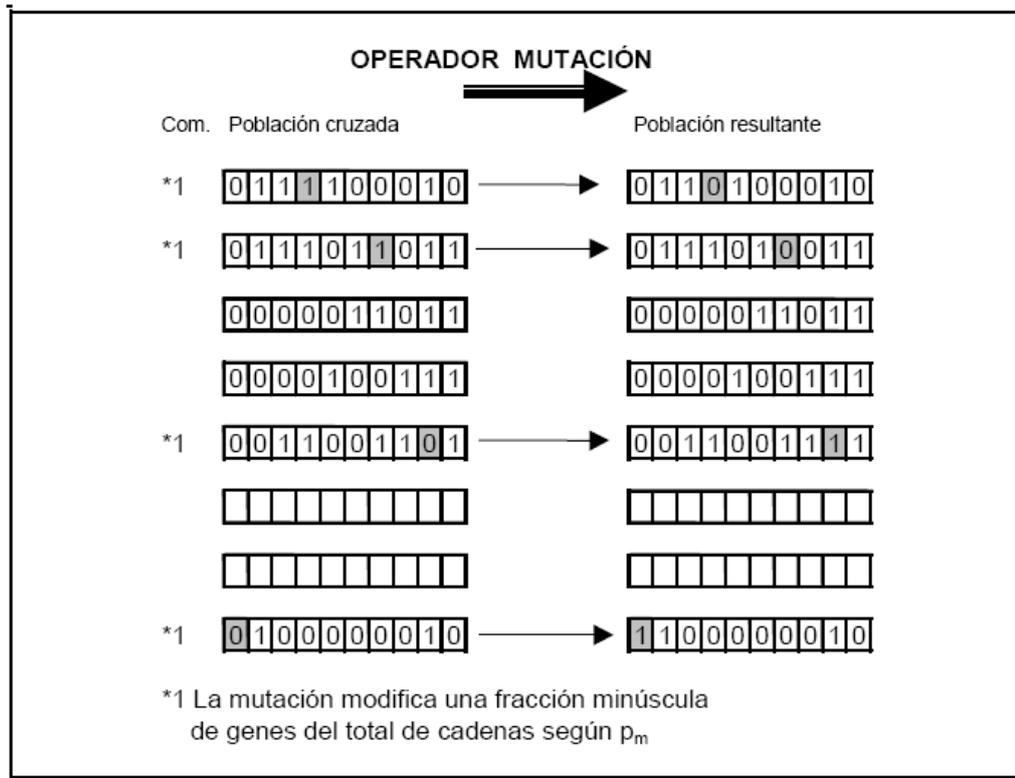
2.7.6 MUTACIÓN

Consiste en elegir aleatoriamente un gen mediante la probabilidad de mutación p_m de un individuo y cambiar su valor. La elección del gen se lo realiza aleatoriamente.

El objetivo de la mutación es producir diversidad en la población, de tal manera que éste alcance una solución óptima.

La probabilidad de mutación no debe ser grande para evitar oscilaciones en el promedio de los valores objetivo de la población.

Fig.II.7-3 Mutación



Fuente: Agustín Matías Sánchez (2003); Diseño de redes de distribución de agua contemplando la fiabilidad, mediante Algoritmos Genéticos, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. Pág.134

2.8 APLICACIÓN DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS AL DISEÑO ÓPTIMO-ECONÓMICO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA A PRESIÓN.

Como lo hemos mencionado con anterioridad el costo está en función de los diámetros de las tuberías por su longitud, entonces, el primer paso es codificar el conjunto de diámetros comerciales a codificación binaria (CuadroII.8-1), de tal manera que después sea posible realizar los demás pasos del AG.



Cuadro.II.8-1 Codificación de diámetros comerciales a código binario.

Diámetros comerciales (mm)	Código binario
80	0000
100	0001
125	0010
150	0011
200	0100
250	0101
300	0110
350	0111
400	1000
450	1001
500	1010
600	1011
700	1111

Fuente: El autor

Para encontrar el número de dígitos que servirán en la codificación se realiza lo siguiente:

$$2^n \geq \text{Número Diámetros} \quad (\text{Ec. 22})$$

Se busca el valor de n que cumpla la igualdad. Este valor n (precisión), indica el número de dígitos a utilizar. Si 2^n sobrepasa el número de diámetros se completará la codificación con la repetición de los diámetros.

2.8.1 GENERACIÓN DE LA POBLACIÓN INICIAL

Para generar aleatoriamente la población inicial, se requieren el número de individuos de la población inicial y la longitud del cromosoma.

La longitud del cromosoma, depende del tamaño de la red y de la cantidad de diámetros comerciales.

(Gomes Pimentel Heber; Pérez García Rafael (2007); Abastecimiento de agua o estado da arte e técnicas avançadas, editorial Universit UFPB. Pág.245)

La longitud del cromosoma para el individuo se determina con la siguiente fórmula:

$$lc = NT \times n \quad (\text{Ec. 23})$$

Donde:

lc – Longitud del cromosoma

NT – Número de tuberías

n – Precisión.- número de dígitos que se requieren para codificar el conjunto de diámetros comerciales disponibles en sistema binario

Por lo tanto se generarán tantos individuos, como se desee.

2.8.2 EVALUACIÓN DE LA APTITUD

La función aptitud para cada uno de los individuos se define como:

$$fa = \frac{1}{Ci + (Cp \times \Delta p) + (Ct \times K)} \quad (\text{Ec. 24})$$

Donde:

fa – Valor de la función aptitud

Ci – Costo de la red, que está en función del diámetro y la longitud de cada tramo.

Cp – Costo de penalización por presión, sólo para aquellas redes que presenten nodos con presiones por debajo de la mínima propuesta.

Δp – Diferencia de carga de presión en un nudo con respecto a la mínima permisible.

Ct – Costo de penalización por telescopía.

K – Constante de penalización.

El costo de penalización por presión (Cp) se obtiene de la siguiente manera:

- Realizamos el cálculo hidráulico para cada uno de los individuos
- Se calcula la diferencia entre la carga de presión de cada uno de los nudos y la carga de presión mínima requerida. Si el valor es inferior a la mínima requerida se obtendrá una diferencia de presión (Δp). Se escoge el mayor valor Δp de todos.
- Entonces el costo de penalización por presión es:



$$C_p = \Delta p \times K \quad (\text{Ec. 25})$$

Tabla.II.8-1 Cargas de presión disponible correspondiente a dos individuos (redes) y su costo de penalización C_p , presión mínima requerida = 29mca

diferentes [$h^*=P/\gamma$]							
Tubo/Nodo	D (in)	h^* (mca)	Δh^* (mca)	D (in)	h^* (mca)	Δh^* (mca)	
1	14			18			
2	12	29,60	-	16	29,89	-	
3	10	29,06	-	12	29,78	-	
4	10	27,37	1.63	12	29,29	-	
5	10	27,57	1.43	14	29,41	-	
			$C_p=1,63*K$				$C_p=0*K$

Fuente: Gomes Pimentel Heber; Pérez García Rafael (2007); Abastecimiento de agua o estado da arte e técnicas avançadas, editorial Universit UFPB. Pág.247

El valor de la constante K depende del costo de la red para un determinado conjunto de diámetros (Valor de la infactibilidad).

Holger M. Benavides Muñoz 2009, propone los siguientes métodos para encontrar el factor K de penalización para AG.

2.8.3 MÉTODO DEL VERIFICADOR DE PRESIÓN (VDP) EN LOS NUDOS DE LA RED.

El método del verificador de presión (VDP) se obtiene con la penalización exponencial de aquellos nudos cuya presión no esté dentro del rango de presiones mínima y máxima previamente establecidas.

Si los valores de presión no están dentro de ese rango elevan su penalización. Pero los que estén dentro disminuyen su penalización, siendo $VDP=1$ cuando estos valores de presión coincidan con el máximo o el mínimo.

Esto quiere decir que primeramente se determina una presión máxima y una presión mínima requerida para todos los nudos de la red ($P_{\max} - P_{\min}$).



El valor de VDP se determina con la siguiente fórmula:

$$VDP = e^{\left(\left| \frac{P_{\max} + P_{\min}}{2} - P_{\text{nudo}} \right| - \left(\frac{P_{\max} - P_{\min}}{2} \right) \right)} \quad (\text{Ec. 26})$$

Donde:

P_{nudo} – Presión manométrica del nudo crítico.

VDP – Verificador de presión.

e – Base neperiana 2.728281...

Luego se encuentra la medida de la **infectibilidad (INF)**, que depende del costo de la red (C_i) por cada conjunto de diámetros, si el C_i es de orden de los miles, INF será del mismo orden.

Con estos dos términos encontramos el valor de la constante K:

$$K = \frac{1}{VDP \times INF} \quad (\text{Ec. 27})$$

Donde:

K – Constante de penalización.

INF – Valor de la infectibilidad.



En la tabla II.8-2 se muestra el proceso de cálculo para una presión: $P_{\min}=30\text{m c.a.}$ y $P_{\max}=50\text{ m c.a.}$

Costo de la red	500000	Ci
Medida de la INFACTIBILIDAD	100000	INF

Tabla II.8-2. Cálculo del coeficiente K

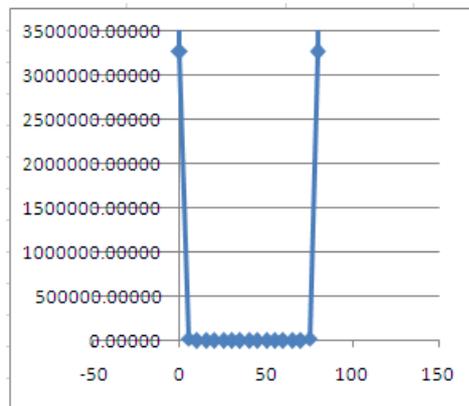
$p / \gamma i$	(Exponente de e)	VDP	K = VDP x INF
-10	40.0	235385266837020000.00000	2.35385267E+22
-5	35.0	1586013452313430.00000	1.58601345E+20
0	30.0	10686474581524.50000	1.06864746E+18
5	25.0	72004899337.38590	7.20048993E+15
10	20.0	485165195.40979	4.85165195E+13
15	15.0	3269017.37247	3.26901737E+11
20	10.0	22026.46579	2.20264658E+09
25	5.0	148.41316	1.48413159E+07
30	0.0	1.00000	1.00000000E+05
35	-5.0	0.00674	6.73794700E+02
40	-10.0	0.00005	4.53999298E+00
45	-5.0	0.00674	6.73794700E+02
50	0.0	1.00000	1.00000000E+05
55	5.0	148.41316	1.48413159E+07
60	10.0	22026.46579	2.20264658E+09
65	15.0	3269017.37247	3.26901737E+11
70	20.0	485165195.40979	4.85165195E+13
75	25.0	72004899337.38590	7.20048993E+15
80	30.0	10686474581524.50000	1.06864746E+18
85	35.0	1586013452313430.00000	1.58601345E+20
90	40.0	235385266837020000.00000	2.35385267E+22
95	45.0	34934271057485100000.00000	3.49342711E+24

Fuente: Holger Benavides Muñoz (2009) Hidráulica, Apuntes de clase.

En la Tabla.II.8-II y en la Fig.II.8-1, se representa los valores de la constante de penalización K para aquellos nudos que cumplen o no el rango de presiones. Para los nudos que se encuentran dentro del rango se obtiene un coeficiente K de penalización pequeño, y los que están fuera del rango obtienen un coeficiente K elevado, que crece exponencialmente mientras más se aleja del rango de presión.



Fig.II.8-1 Gráfico: Abscisas: Presión de nudos, Ordenadas: Valor de K
Los nudos con presiones dentro del rango obtienen K pequeño



Fuente: Holger Benavides Muñoz (2009) Hidráulica, Apuntes de clase.

2.8.4 MÉTODO DE LA IMPORTANCIA RELATIVA AL COSTO SOCIAL DEL PROYECTO (IRC)

Tiene como objetivo conseguir el coeficiente K de penalización de la red al no satisfacer las presiones máximas y mínimas, teniendo en cuenta el costo social que esto implicaría. Para ello Holger Benavides (2009) otorga una escala de valoración para encontrar el IRC. Tabla II.8-3.

Según la escala de valoración se calcula el valor de importancia (IRC) de la siguiente manera:

Escasa importancia (1):

$$IRC = (5/10^1)^{-1} \quad (\text{Ec. 28})$$

Poco importante (2):

$$IRC = (4/10^2)^{-1} \quad (\text{Ec. 29})$$

Importante (3):

$$IRC = (3/10^3)^{-1} \quad (\text{Ec. 30})$$

Muy importante (4):



$$IRC = (2/10^4)^{-1} \quad (\text{Ec. 31})$$

Muy crítico si no satisface (5):

$$IRC = (1/10^5)^{-1} \quad (\text{Ec. 32})$$

Donde:

IRC – Índice de la importancia relativa al costo social del proyecto

INF– Valor de la infactibilidad

Con este IRC podemos determinar el coeficiente de penalización de la siguiente manera:

$$K = IRC \times INF \quad (\text{Ec. 33})$$

Donde:

K– Constante de penalización

IRC – Índice de la importancia relativa al costo social del proyecto

INF– Valor de la infactibilidad

En la siguiente tabla se detalla el procedimiento para encontrar el coeficiente K suponiendo que el factor de la infactibilidad INF= 100000

Tabla II.8-3. Cuadro de valoración del IRC

Si la presión no satisface los mínimos o los máximos	Escala de valoración	IRC	K = IRC x INF
escasa importancia	1	2.0	2.00000000E+05
poco importante	2	25.0	2.50000000E+06
importante	3	333.3	3.33333333E+07
muy importante	4	5000.0	5.00000000E+08
Muy crítico si no satisface	5	100000.0	1.00000000E+10

Fuente: Holger Benavides Muñoz (2009) Hidráulica, Apuntes de clase.



2.8.5 COSTO DE PENALIZACIÓN POR TELESCOPIA (Ct)

El costo de penalización por telescopía (Ct) se obtiene del número de tuberías que no cumplan esta condición. Es decir si todas las líneas cumplen esta norma Ct tendrá el valor de cero.

$$C_t = N_t \times K \quad (\text{Ec. 34})$$

Donde:

Ct – Costo de penalización por telescopía

Nt– Número de tuberías que no cumplen la norma de telescopía

K– Constante de penalización

Si el costo de penalización es alto, el valor de fa (función aptitud) será bajo; por lo tanto, individuos con esas características desaparecerán en las siguientes generaciones; así mismo se tendrán individuos muy aptos cuando Cp (costo de penalización por presión) y Ct (costo de penalización por telescopía) tenga valor de cero y el Ci (costo de la red) sea pequeño. El Ci será pequeño si el conjunto de diámetros son los más pequeños posibles que satisfagan las restricciones de presión y demanda.

2.8.6 SELECCIÓN PROPORCIONAL

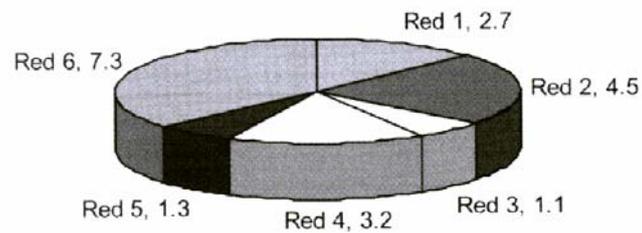
Después de haber evaluado la aptitud de cada individuo, seguimos con la elección de las parejas para llevar a cabo la cruce.

Entonces por cada par de padres obtendremos un par de hijos. Esto se desarrolla con el fin de mantener constante el número de individuos en todas las generaciones.

El método que será utilizado es el de la ruleta o selección proporcional, este método determina a cada individuo una parte dentro de la ruleta, de tamaño proporcional a su aptitud. (COLEY, 1999; GOLDBERG, 1989). Cada individuo tiene asignado un tamaño de acuerdo a su aptitud. Fig.II.8-2.



Fig.II.8-2 Ruleta para la selección proporcional, Individuos con su correspondiente aptitud



Fuente: Gomes Pimentel Heber; Perez García Rafael (2007); Abastecimiento de agua o estado da arte e técnicas avançadas, editorial Universit UFPB. Pág.249

2.8.7 CRUZAMIENTO

Después de la selección, se ordenan por número de individuo, en forma descendente según su función aptitud, y se cruzan los números impares con los pares contiguos. Si el número de individuos de la población es impar, el último individuo pasa igual a la siguiente generación, sin ser cruzado.

Cuadro.II.8-2 Formación de parejas para la cruce

No. de Red (Individuo)	No. de pareja
1	1
2	
3	2
4	
5	3
6	

Fuente: Gomes Pimentel Heber; Pérez García Rafael (2007); Abastecimiento de agua o estado da arte e técnicas avançadas, editorial Universit UFPB. Pág. 249

Las probabilidades de cruce (P_c) están entre 0.6 y 1.0, el valor depende del problema que se esté optimizando. (Gomes Pimentel Heber; Pérez García Rafael, 2007).



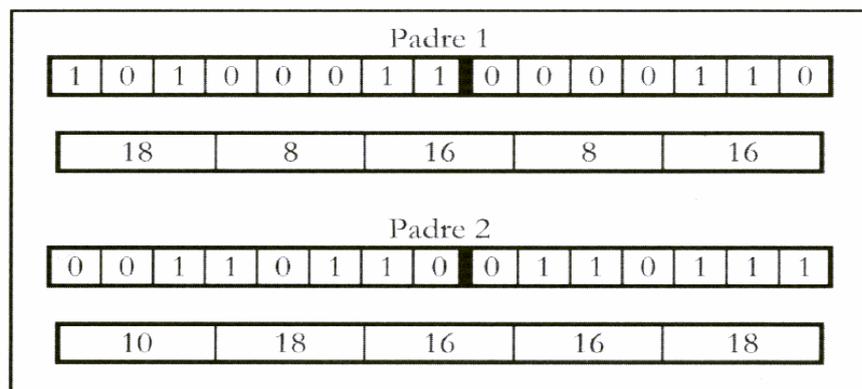
Entonces para cada par (pareja) generamos un número aleatorio entre cero y uno, comprobando lo siguiente:

Si :

$$N^{\circ} \text{ aleatorio} \leq P_c \Rightarrow \text{Cruza}$$

Si la condición es verdadera generamos nuevamente otro número aleatorio esta vez entre uno y (Lc-1) (longitud del cromosoma menos 1). El valor obtenido será el punto de cruce. (Fig.II.8-3).

Fig.II.8-3 Individuos de la pareja 1, el punto de cruce se señala con la línea más gruesa, el reglón de arriba representa los individuos en codificación binaria y el reglón de abajo, con 5 números, representa los correspondientes diámetros de tubería en pulgadas.



Fuente: Gomes Pimentel Heber; Pérez García Rafael (2007); Abastecimiento de agua o estado da arte e técnicas avançadas, editorial Universit UFPB. Pág.250

Entonces:

Para el primer hijo: La primera parte del cromosoma es aquella que se localiza en la parte izquierda del punto de cruce del padre1, y la segunda parte es la que se localiza en la parte derecha del punto de cruce del padre 2.

Para el segundo hijo: La primera parte del cromosoma es aquella que se localiza en la parte izquierda del punto de cruce del padre2, y la segunda parte es la que se localiza en la parte derecha del punto de cruce del padre 1.



Este proceso se realiza para cada una de las parejas. Al final de este proceso se tendrán los nuevos descendientes.

Fig.II.8-4 Descendientes de la pareja 1



Fuente: Gomes Pimentel Heber; Pérez García Rafael (2007); Abastecimiento de agua o estado da arte e técnicas avançadas, editorial Universit UFPB. Pág.250

2.8.8 MUTACIÓN

Las probabilidades de mutación (P_m) para resolver problemas de ingeniería son muy bajas, 0.02, pero es importante que exista para mantener la diversidad en la población. Si no existiese la mutación, el algoritmo podría quedarse "atrapado" en un óptimo local. La probabilidad de mutación tampoco puede ser muy alta porque entonces el algoritmo se vuelve completamente aleatorio, sin convergencia en el resultado. (GOMES PIMENTEL HEBER; PEREZ GARCIA RAFAEL 2007)

La probabilidad de mutación dependiendo del tamaño de la red se calcula de la siguiente manera:

$$P_m = \frac{V_m}{l_c} \quad (\text{Ec. 35})$$

Donde:

P_m – Probabilidad de mutación.

V_m – Valor de mutación.

l_c – Longitud del cromosoma o individuo.



Para mutar un individuo se sigue el siguiente proceso:

- Para cada descendiente se genera un número aleatorio entre cero y uno.
- Si el número generado es menor o igual que P_m , se aplicará el operador de mutación al individuo.
- Si el número generado es mayor a P_m , este individuo pasará intacto a la siguiente generación.

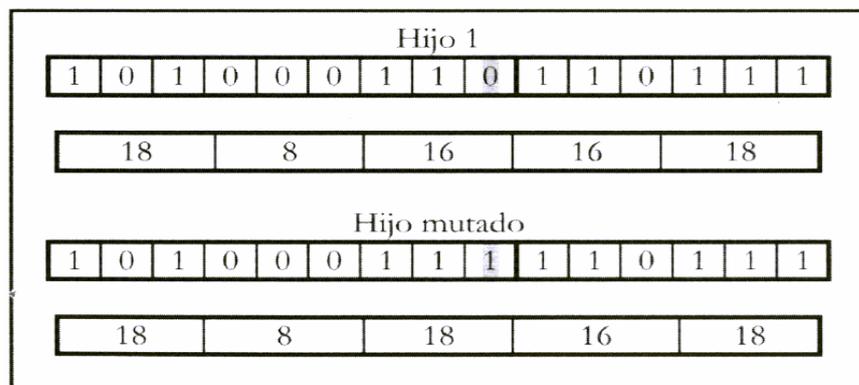
Si el individuo se ha seleccionado para mutarse, entonces:

- Se genera otro número aleatorio, esta vez entre 1 y l_c .
- El número generado será la posición en la cadena cromosómica que será mutada.

(Gomes Pimentel Heber; Pérez García Rafael (2007); Abastecimiento de agua o estado da arte e técnicas avançadas, editorial Universit UFPB. Pág.251)

En la Fig.II.8-5 se muestra un ejemplo suponiendo que el número aleatorio generado para el primer descendiente de la población es nueve.

Fig.II.8-5 Descendiente mutado en el noveno gen



Fuente: Gomes Pimentel Heber; Pérez García Rafael (2007); Abastecimiento de agua o estado da arte e técnicas avançadas, editorial Universit UFPB. Pág.251

2.8.9 NÚMERO DE GENERACIONES

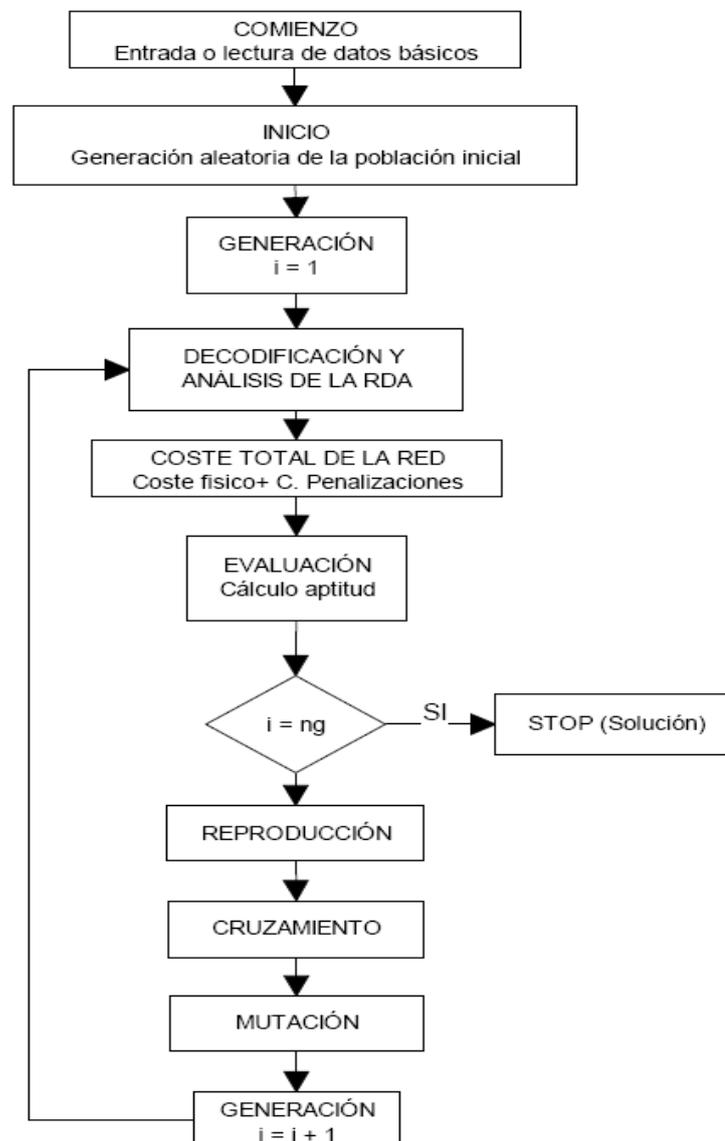
Luego de mutar los descendientes, se comienza una nueva generación, analizando la red, evaluando aptitudes, seleccionando, cruzando y mutando hasta que se llegue a un cierto número de generaciones y se tenga el mejor individuo de todas ellas.



El número de generaciones es la manera de detener el algoritmo. En el caso del diseño óptimo, el número de generaciones depende del tamaño de la red. Puede ser 100 generaciones en casos de redes sencillas (Gomes Pimentel Heber; Pérez García Rafael 2007)

A continuación en la Fig.II.8-6 podemos representar el diagrama de flujo para la implementación de un algoritmo genético simple.

Fig.II.8-6 Diagrama de flujo para un simple AG aplicado a Redes de distribución de agua a presión



Fuente: Agustín Matías Sánchez (2003); Diseño de redes de distribución de agua contemplando la fiabilidad, mediante Algoritmos Genéticos, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. Pág.145



CAPÍTULO III

MANUAL DEL USUARIO

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	45
CAPÍTULO 1: INTERFAZ CON EL USUARIO	46
HERRAMIENTAS EN LA VENTANA PRINCIPAL	47
BARRA DE MENÚS	47
BARRA DE HERRAMIENTAS	47
EVENTOS DEL MOUSE	48
CAPÍTULO 2: USO DE MENÚS	50
MENÚ ARCHIVO	50
Menú Archivo > Nuevo Proyecto	50
Menú Archivo > Abrir	50
Menú Archivo > Guardar	50
Menú Archivo > Guardar Como...	50
Menú Archivo > Salir	51
MENÚ ESQUEMA	51
Menú Esquema > Eliminar Elemento	51
Menú Esquema > Puntero	51
Menú Esquema > Ingresar Depósito	51
Menú Esquema > Ingresar Nudo	51
Menú Esquema > Ingresar Tubería	51
MENÚ VER	52
Menú Ver > Nudos	52
	43



Menú Ver > Conexiones	52
MENÚ EDITAR	53
Menú Editar > Diámetros	53
MENÚ OPCIONES	55
Menú Opciones > Opciones de cálculo	55
MENÚ GENERAR	58
Menú Generar > Método Convencional	58
Menú Generar > Método Algoritmos Genéticos	59
MENÚ RESULTADOS	60
Menú Resultados > Método Convencional	61
Menú Resultados > Método Búsqueda Binaria	61
Menú Resultados > Presupuesto Convencional	61
Menú Resultados > Presupuesto Búsqueda Binaria	61
Menú Resultados > Borrar	61
Menú Resultados > Exportar	61
Menú Resultados > Cerrar	61
MENÚ VISUALIZAR	62
Menú Visualizar > Visualizar Convencional	62
Menú Visualizar > Visualizar Búsqueda Binaria	62
MENÚ AYUDA	63
CAPÍTULO 3: BARRA DE HERRAMIENTAS	64
CAPÍTULO 4: PROCEDIMIENTO PARA INGRESAR Y MODELAR UNA RED	66



INTRODUCCIÓN

El presente documento sirve como una herramienta de apoyo y guía en el manejo de todos los comandos del programa académico DERDAP v1.0. En éste se incluye el procedimiento que se debe seguir para generar una nueva red. Para tener un claro concepto de lo que realiza el programa y cuáles son sus funciones, será necesario leer primeramente el manual del usuario y seguir con las instrucciones explicadas.

CAPÍTULO 1: INTERFAZ CON EL USUARIO

Después de instalar el programa, ejecute el acceso directo para iniciar DERDAP v1.0. En este se muestra una ventana de presentación e información del programa (Fig.1), presione continuar para proseguir.



Fig. 1. Ventana de presentación e información de DERDAP v 1.0

Inmediatamente después de presionar **Continuar...**, se visualizará la ventana principal de DERDAP v1.0 (Fig.2)

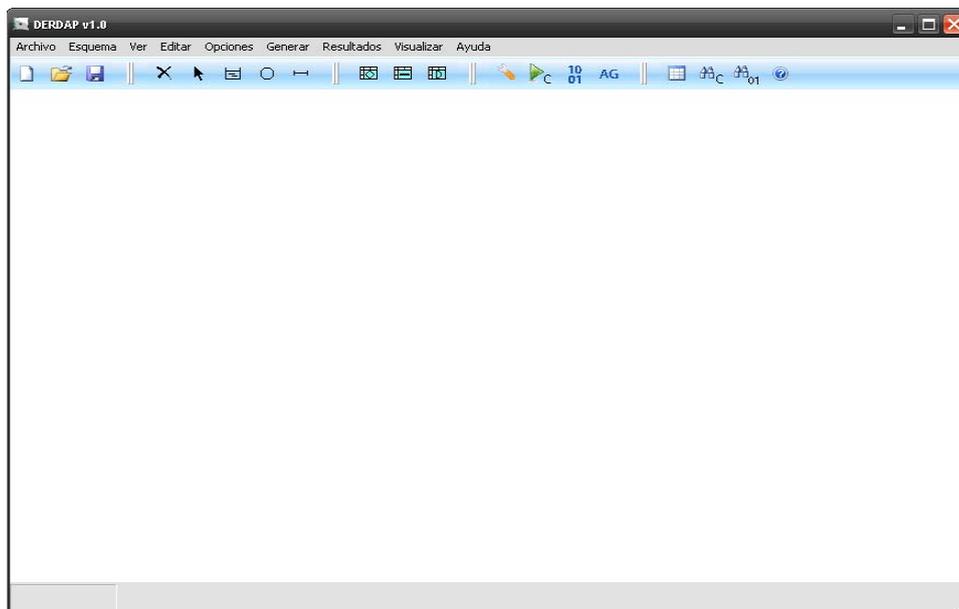


Fig. 2. Ventana principal de DERDAP v1.0

HERRAMIENTAS EN LA VENTANA PRINCIPAL

Cuando esté visualizada la ventana principal, se muestran la barra de menús y la barra de herramientas. Estas se encuentran esquematizadas en la Fig. 3.

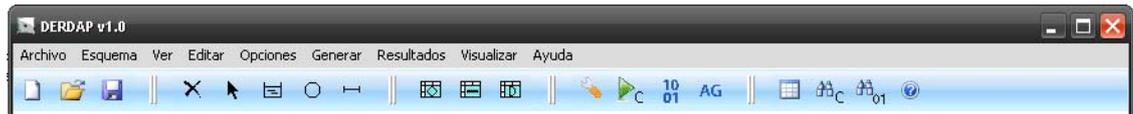


Fig. 3. Barra de menús y Barra de herramientas

BARRA DE MENÚS

La barra de menús está integrada por comandos que realizan ciertas actividades. Estas están agrupadas de acuerdo a lo que hacen. DERDAP v1.0 cuenta con los siguientes menús: Archivo, Esquema, Ver, Editar, Opciones, Generar, Resultados, Visualizar y Ayuda.

BARRA DE HERRAMIENTAS

La barra de herramientas representa a cada una de las opciones de menú. Son comandos de acceso directo.

Esta barra equivale al **menú Archivo**.



Esta barra equivale al **menú Esquema**.



Esta barra equivale al **menú Ver**.



Esta barra equivale al **menú Editar**.



Esta barra equivale al **menú Opciones**.



Esta barra equivale al **menú Generar**.



Esta barra equivale al **menú Resultados**.



Esta barra equivale al **menú Visualizar**.



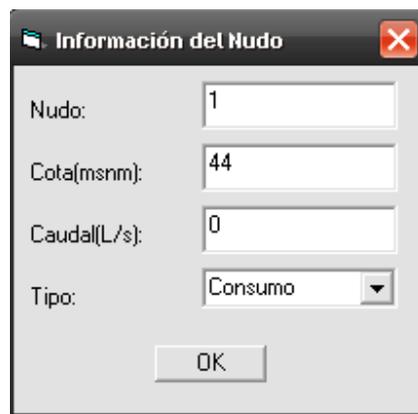
Esta barra equivale al **menú Ayuda**.



EVENTOS DEL MOUSE

Los eventos del mouse son una parte importante que se debe conocer, forman parte principal en la creación del esquema, en el ingreso y edición de los datos. Estos eventos son:

Clic en Nudos: Visualiza una ventana que permite ingresar y editar los datos topológicos correspondientes al nudo. El clic se lo debe hacer en la numeración del nudo.



Información del Nudo	
Nudo:	1
Cota(msnm):	44
Caudal(L/s):	0
Tipo:	Consumo
OK	

Fig.4. Ventana de ingreso y edición de nudos.

Clic en las Tuberías: Visualiza una ventana que permite ingresar y editar la longitud de la tubería. El clic se lo debe hacer en la numeración de la línea.



Información de tubería

Tubería: 8

Longitud (m): 1400

Nodo Inicial: 2

Nodo Final: 8

OK

Fig.5. Ventana de ingreso y edición de Tuberías

Clic derecho en un elemento para eliminar: Primeramente en la barra de herramientas se selecciona eliminar elemento, luego al hacer clic derecho en la numeración de la línea o nudo aparece un menú con la opción de borrar, si aceptamos, el elemento se eliminará.

CAPÍTULO 2: USO DE MENÚS

En este capítulo se describen los comandos de cada menú.

MENÚ ARCHIVO

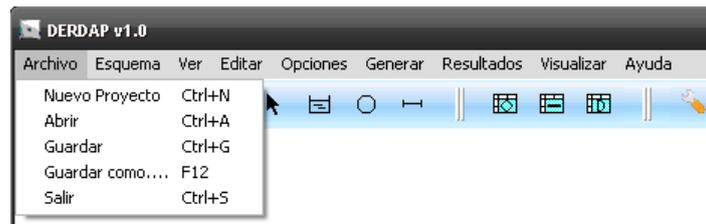


Fig.6. Ventana del menú Archivo

Menú Archivo > Nuevo Proyecto

Prepara un nuevo ejercicio o proyecto, éste borra el esquema y los datos almacenados del proyecto actual.

Menú Archivo > Abrir

Abre un archivo para el programa DERDAP v1.0 que haya sido guardado anteriormente. La extensión de los archivos es **.opd.

Menú Archivo > Guardar

Guarda los cambios realizados en el archivo de datos abierto, estos son: esquema, datos de nudos y líneas.

Menú Archivo > Guardar Como...

Permite guardar el proyecto con un nombre determinado por el usuario; no se debe utilizar nombres que involucren caracteres como punto (.), coma (,), guión (-) o signos de operación.

Menú Archivo > Salir

Permite cerrar el programa DERDAP v1.0

MENÚ ESQUEMA



Fig. 7 Ventana del menú Esquema

Menú Esquema > Eliminar Elemento

Permite eliminar un elemento sea este nudo, línea o depósito. Seleccionamos el comando, luego al hacer clic derecho en la numeración de la línea o nudo aparece un menú con la opción de borrar, si aceptamos, el elemento se eliminará.

Menú Esquema > Puntero

Desactiva cualquier operación de ingreso de objetos; depósito, nudos o líneas al esquema y la visualización de resultados.

Menú Esquema > Ingresar Depósito

Permite ingresar un depósito, y editar sus características

Menú Esquema > Ingresar Nudo

Permite ingresar un nudo, y editar sus características

Menú Esquema > Ingresar Tubería

Permite ingresar una conexión mediante tubería, y editar sus características

MENÚ VER

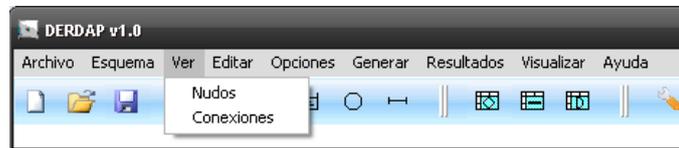
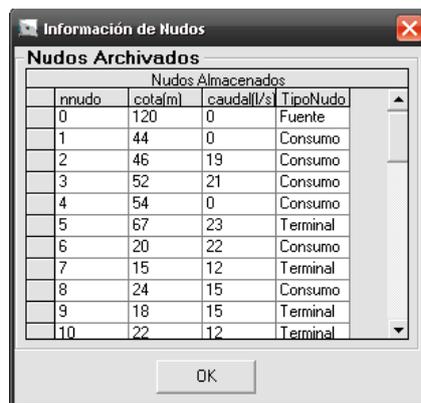


Fig.8. Ventana del menú Ver

Menú Ver > Nudos

Permite visualizar una ventana que contiene un cuadro con los datos de los nudos ingresados (Fig. 9). No se puede editar las características topológicas de los nudos.



Nudos Almacenados				
nnudo	cota[m]	caudal[l/s]	TipoNudo	
0	120	0	Fuente	
1	44	0	Consumo	
2	46	19	Consumo	
3	52	21	Consumo	
4	54	0	Consumo	
5	67	23	Terminal	
6	20	22	Consumo	
7	15	12	Terminal	
8	24	15	Consumo	
9	18	15	Terminal	
10	22	12	Terminal	

Fig. 9. Ventana con los datos de nudos ingresados

Menú Ver > Conexiones

Permite visualizar una ventana que contiene un cuadro con los datos de las tuberías: Nudo inicio, nudo Fin y longitud de la tubería. (Fig. 10).



Información de Tuberías

Conexiones			
	NInicio	NFin	Longitud(m)
▶	0	1	1100
	1	2	1800
	2	3	1350
	3	4	1200
	4	5	800
	1	6	1500
	6	7	450
	2	8	1400

OK

Fig. 10. Ventana con los datos de las Conexiones establecidas.

MENÚ EDITAR

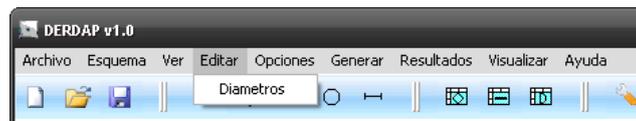
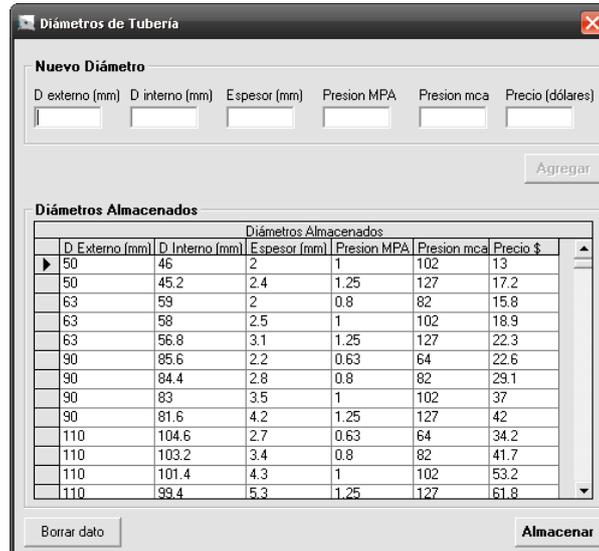


Fig. 11. Ventana del menú Editar

Menú Editar > Diámetros

Permite visualizar una ventana que muestra el contenido de una base de datos con los diámetros comerciales del mercado, y sus respectivas características físicas: Diámetro externo, diámetro interno, espesor, presión de trabajo en MPA, presión de trabajo en m c.a, y su valor monetario por cada tubería (seis metros de tubería en esta base de datos).



Diámetros de Tubería

Nuevo Diámetro

D externo (mm) D interno (mm) Espesor (mm) Presion MPA Presion mca Precio (dólares)

Agregar

Diámetros Almacenados

Diámetros Almacenados						
D Externo (mm)	D Interno (mm)	Espesor (mm)	Presion MPA	Presion mca	Precio \$	
50	46	2	1	102	13	
50	45.2	2.4	1.25	127	17.2	
63	59	2	0.8	82	15.8	
63	58	2.5	1	102	18.9	
63	56.8	3.1	1.25	127	22.3	
90	85.6	2.2	0.63	64	22.6	
90	84.4	2.8	0.8	82	29.1	
90	83	3.5	1	102	37	
90	81.6	4.2	1.25	127	42	
110	104.6	2.7	0.63	64	34.2	
110	103.2	3.4	0.8	82	41.7	
110	101.4	4.3	1	102	53.2	
110	99.4	5.3	1.25	127	61.8	

Borrar dato Almacenar

Fig. 12. Ventana con los datos de los Diámetros Comerciales.

En esta ventana se pueden ir añadiendo más diámetros, solamente ingresando sus características correspondientes y presionando **Agregar**. Luego de ingresar el nuevo diámetro este se ubicará al final de la lista (Esto es para que el usuario tenga una guía que indique el diámetro nuevo que ingresó). Al cerrar la ventana, los nuevos diámetros ingresados se ordenarán en forma ascendente de acuerdo al diámetro externo y a la presión de trabajo.

IMPORTANTE: DERDAPv1.0 considera para el cálculo el diámetro interno, por lo tanto al ingresar un nuevo tipo de tubería hay que asegurarse que el diámetro interno nuevo no sea exactamente igual a uno existente, por que el algoritmo sufre alteraciones en la búsqueda al encontrar valores duplicados y generaría un error. Podemos remediar esto de la siguiente manera:

Por ejemplo: si tenemos un diámetro interno existente de 400mm el siguiente que ingresaríamos sería 400.001mm, si ingresaríamos otro sería 400.002mm etc., como la medida del diámetro es en milímetros, aumentar su valor en 0.001mm no afecta el cálculo hidráulico, pero sirve como diferencia entre diámetros (Fig. 13)

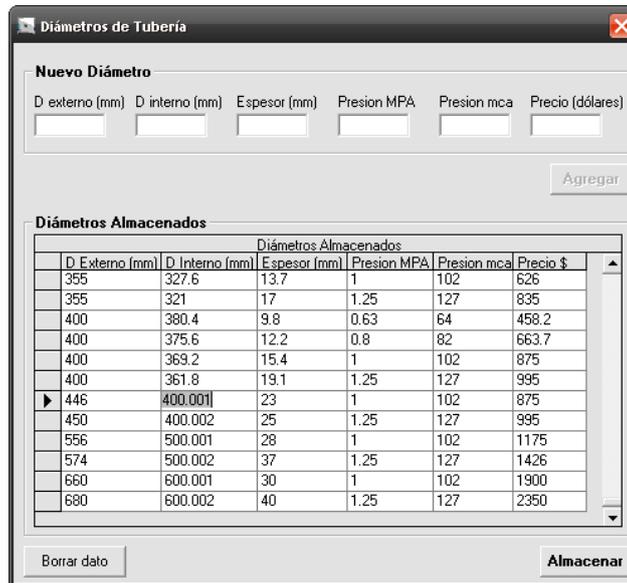


Fig. 13. Diámetros internos repetidos

MENÚ OPCIONES



Fig.14. Ventana del menú Opciones

Menú Opciones > Opciones de cálculo

Abre la ventana de opciones de cálculo, la cual muestra tres opciones: método, fórmulas y condiciones.

MÉTODO.- Se escoge el método de cálculo que se desea emplear (Fig.15).

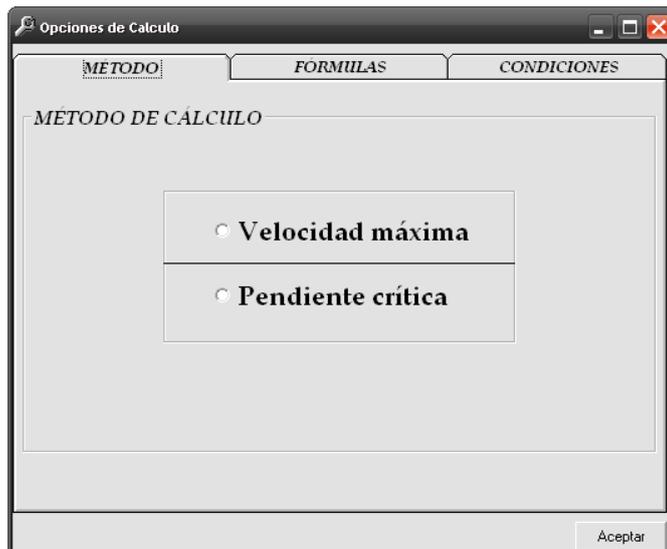


Fig.15. Ventana de Opciones de Calculo > Método de cálculo

FÓRMULAS.- Se visualizan tres fórmulas posibles.

Para Darcy-Weisback se puede ingresar un coeficiente de fricción constante para todas las tuberías, o elegir Automática para que DERDAP v1.0 calcule el coeficiente de fricción por Colebrook-White, y mediante punto fijo determine la fricción para cada una de las tuberías, utilizando la rugosidad absoluta y un coeficiente de Viscosidad Cinemática que dependen del tipo de material y la temperatura del agua (Fig.16).

En material se despliega una lista con el nombre del material, que en el momento de ser escogido presenta su valor de rugosidad absoluta. O ingresar otro valor directamente en el casillero correspondiente.

En viscosidad cinemática ocurre lo mismo, se despliegan una lista con las diferentes temperaturas del agua, y al escoger un valor, aparece su viscosidad cinemática a esa temperatura.

Para Hazen-Williams también se puede escoger el coeficiente de fricción desde una lista desplegable, que incluye los tipos de material que están fabricadas las tuberías, o ingresar un valor diferente a los almacenados.

Para Chezy-Manning se establece la misma opción anterior con los coeficientes de manning dependiendo del tipo de material.

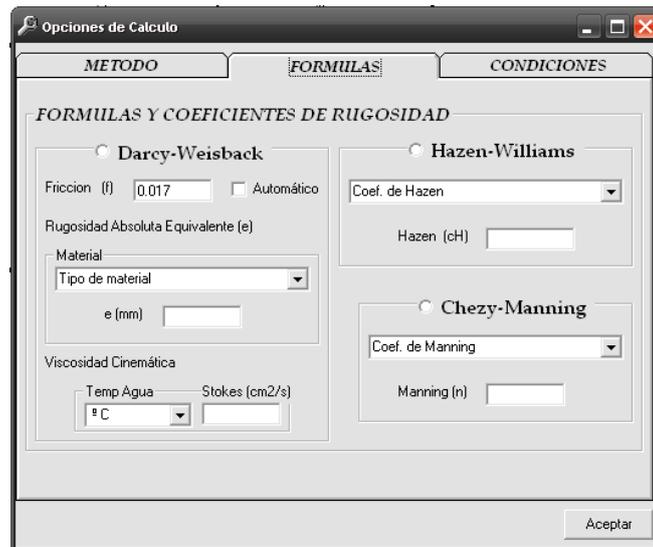


Fig.16. Ventana de Opciones de Calculo > Fórmulas y coeficientes de Rugosidad

CONDICIONES.- Para las condiciones de cálculo hidráulico se tienen divididas en dos consideraciones:

La primera “Condiciones Iniciales de Cálculo” son los requerimientos de presión y los controles de velocidad de circulación en las tuberías.

La segunda “Condiciones de división de tuberías” se determina las condiciones en el método de Búsqueda Binaria (Fig.17)

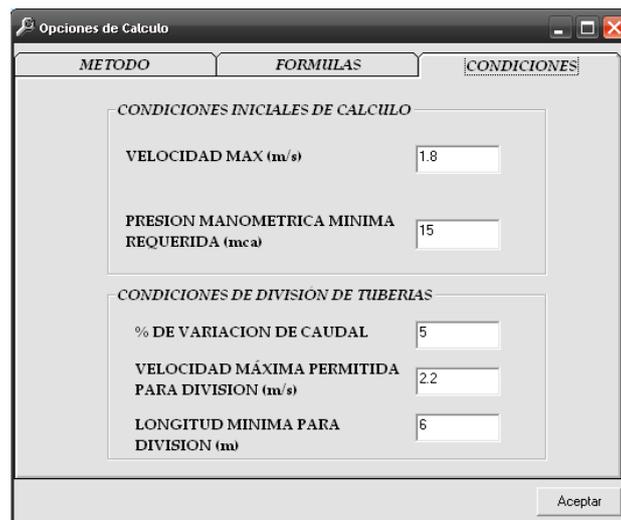


Fig.17. Ventana de Opciones de Calculo > Condiciones iniciales de cálculo



El porcentaje de variación de caudal establece si la línea puede ser dividida de acuerdo a las consideraciones expresadas por el método; algunos autores recomiendan que este valor sea del 5%, pero depende del usuario y de la red a modelar.

La velocidad máxima permitida para subdivisión es dispensable por efecto de disminución de diámetro. En una línea que circula cierto caudal, el diámetro inicial (D1) mantiene las características de velocidad máxima, pero al disminuir el segundo tramo (D2), se establece un incremento de velocidad en recompensa de transporte de caudal. Por ese motivo se determina una velocidad máxima permitida para subdivisión.

La longitud mínima para la subdivisión se considera en el cálculo binario, para que las longitudes en juego no disminuyan en un valor muy pequeño, por ejemplo si el valor determinado por el usuario es de seis metros (una tubería), el usuario limita que, si la longitud de una de las dos tuberías es menor que ese valor, la subdivisión se cancela. Esto se realiza para que no exista una división innecesaria.

MENÚ GENERAR



Fig.18. Ventana del menú Generar

Menú Generar > Método Convencional

Ejecuta el cálculo de la red por el método convencional y archiva los resultados.

Menú Generar > Método Búsqueda Binaria

Ejecuta el cálculo de la red por el método I-pai Wu, búsqueda binaria y archiva los resultados.

Menú Generar > Método Algoritmos Genéticos

Se despliega una ventana que permite ingresar los datos referentes a: número de generaciones, tamaño de la población o número de individuos, probabilidad de cruce, probabilidad de mutación y el método para calcular el coeficiente de penalización K. (Fig. 19).

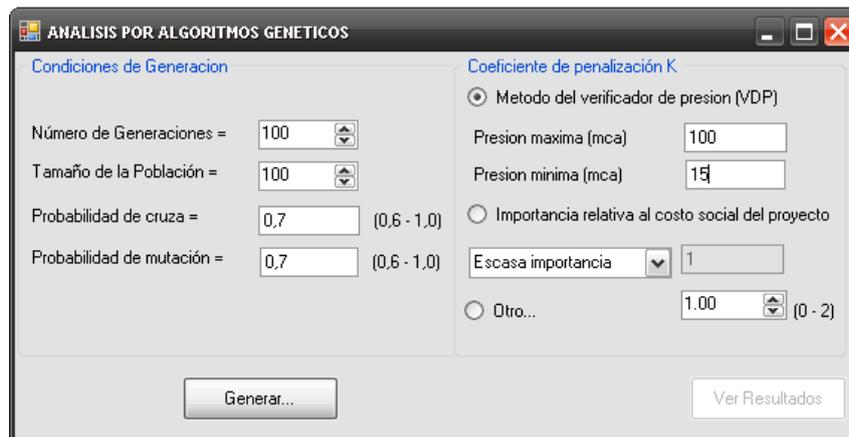


Fig.19. Ventana para generar (AG)

Ingresadas las opciones, se genera el cálculo de la red por algoritmos genéticos (AG) y archiva la codificación de cada individuo. Cuando el proceso finaliza se activa ; al seleccionarlo abre una ventana que permite escoger el individuo que se desea examinar (Fig. 20). Estos individuos son los de la última generación y están ordenados en forma descendente según su aptitud, es decir el primer individuo es el mejor de todos y representa posiblemente la respuesta más acertada de la red.

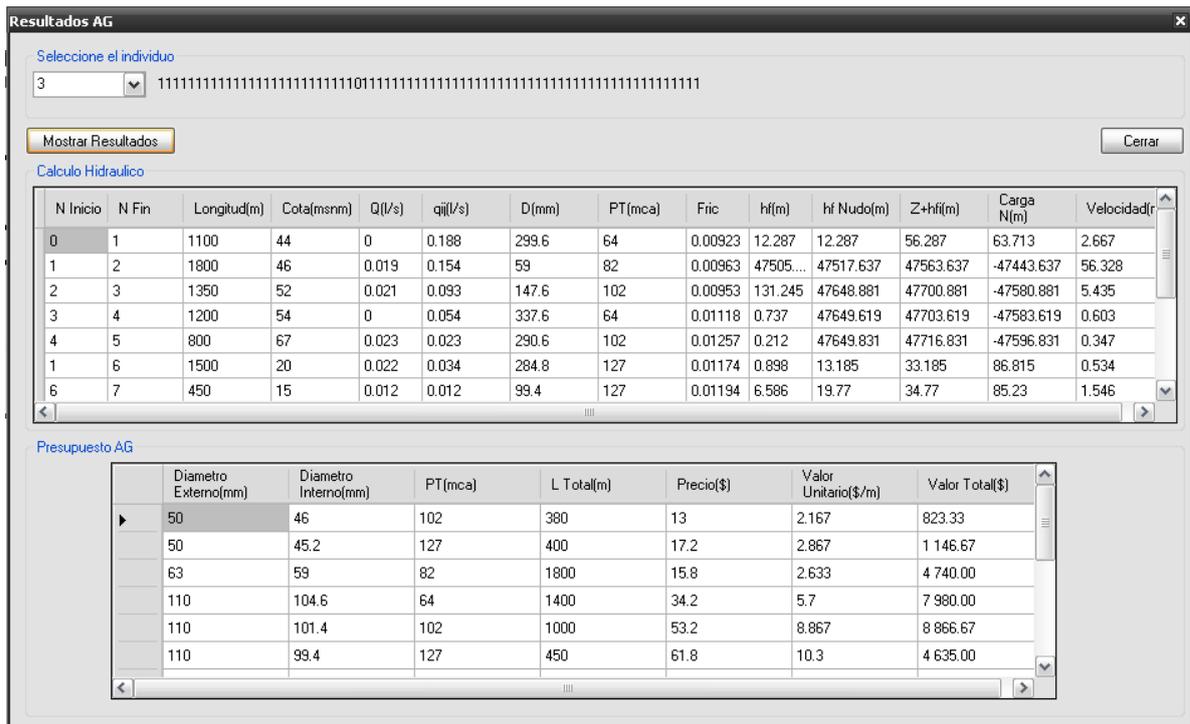


Fig.20. Ventana para mostrar resultados por (AG)

Al seleccionar , aparecerá en las tablas el cálculo hidráulico y el presupuesto del individuo escogido.

Para cerrar esta ventana se debe hacer clic en . Solamente con este botón la ventana desaparecerá

MENÚ RESULTADOS



Fig. 21. Ventana del menú Resultados



Abre una ventana que permite mostrar las tablas de resultados (Fig.22). Se selecciona la opción de la tabla que se desee visualizar.

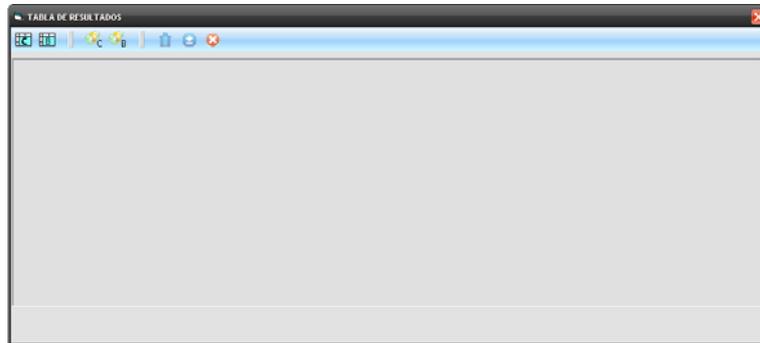


Fig. 22. Ventana de Presentación de Resultados

Menú Resultados > Método Convencional

Muestra una tabla con los resultados obtenidos por el método convencional.

Menú Resultados > Método Búsqueda Binaria

Muestra una tabla con los resultados obtenidos por el método de Búsqueda Binaria.

Menú Resultados > Presupuesto Convencional

Muestra el presupuesto obtenido por el Método Convencional.

Menú Resultados > Presupuesto Búsqueda Binaria

Muestra el presupuesto obtenido por el método de Búsqueda Binaria.

Menú Resultados > Borrar

Borra la tabla que se esté visualizando

Menú Resultados > Exportar

Permite guardar los datos a un archivo de tipo *.txt (Bloc de Notas)

Menú Resultados > Cerrar

Cierra la ventana de Tabla de Resultados y regresa a la ventana principal.

MENÚ VISUALIZAR



Fig. 23 Ventana del menú Visualizar

Menú Visualizar > Visualizar Convencional

Permite mostrar en el esquema los resultados obtenidos por este método. Los resultados se muestran en una etiqueta al momento de hacer clic en la numeración de los nudos o de las líneas (Fig. 24), la ventana desaparece al presionar cualquier tecla.

Menú Visualizar > Visualizar Búsqueda Binaria

Permite mostrar en el esquema los resultados obtenidos por este método. Los resultados se muestran en una etiqueta al momento de hacer clic en la numeración de los nudos o de las líneas (Fig. 24), la ventana desaparece al presionar cualquier tecla.

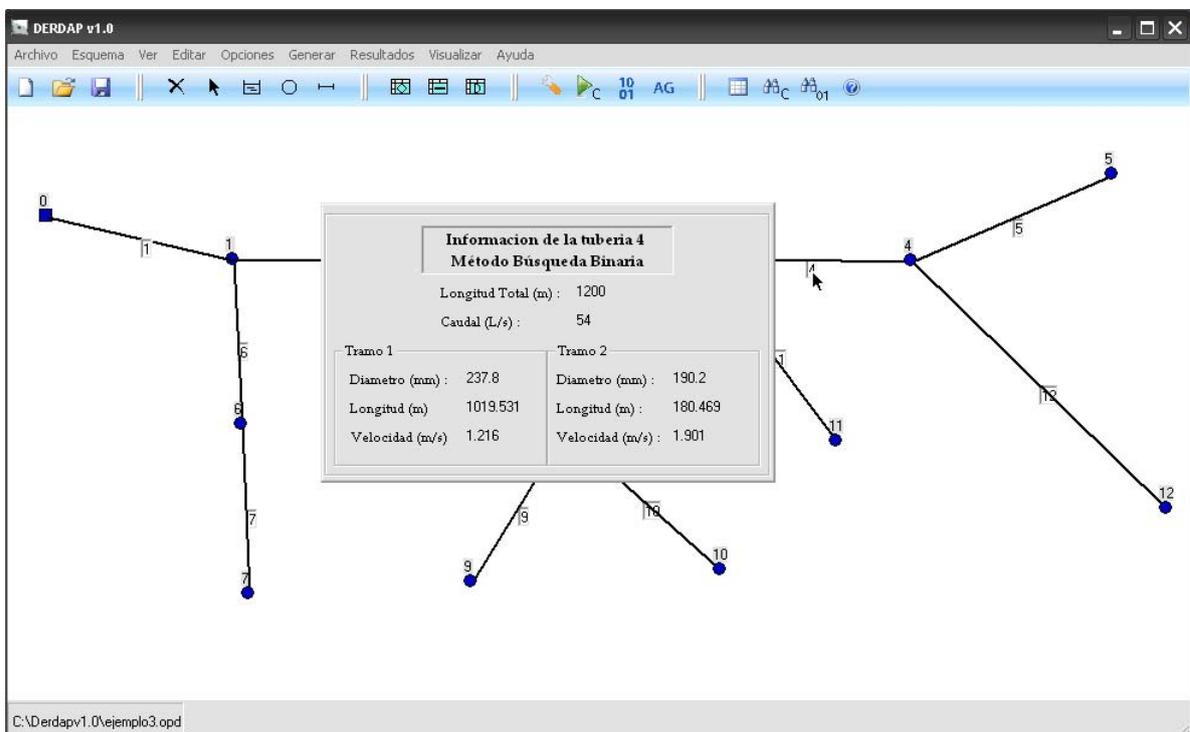


Fig. 24 Visualización de resultados en el esquema



MENÚ AYUDA



Fig.25. Ventana del menú Ayuda

Abre el manual del usuario.



CAPÍTULO 3: BARRA DE HERRAMIENTAS



Fig.26. Barra de Herramientas

Son opciones de acceso directo de la barra de menús, y se encuentran detalladas a continuación:

-  **Generar un Modelo Nuevo**
-  **Abrir un Archivo**
-  **Guardar Cambios**
-  **Eliminar Elemento**
-  **Puntero**
-  **Ingresar Depósito**
-  **Ingresar Nudo**
-  **Ingresar Tubería**
-  **Ver Nudos Archivados**
-  **Ver Conexiones Archivadas**
-  **Ver y Editar Tabla de Diámetros**
-  **Opciones de Cálculo Hidráulico**
-  **Generar cálculo Convencional**



10

Generar cálculo Búsqueda Binaria

AG

Generar cálculo Algoritmos Genéticos



Mostrar Tabla de Resultados



Visualizar Convencional



Visualizar Búsqueda Binaria



Ayuda

Nota. Al pasar el cursor por cada botón se despliega un membrete que permite conocer cuál es su función.



CAPÍTULO 4: PROCEDIMIENTO PARA INGRESAR Y MODELAR UNA RED

Este capítulo está enfocado al usuario, de cómo llevar a cabo el proceso de ingresar una red y su modelación, de manera que optimice el tiempo de aprendizaje y que el interesado pueda manejar los resultados obtenidos en la modelación.

RECONOCIENDO LOS DATOS DE LA RED

Se debe tener a mano los datos topológicos y demás características de la red que se quiere modelar.

Para la presente modelación se tomaron como datos de nudos y longitudes los siguientes:

DATOS			
NUDO #	L (m)	Z(m)	q(m ³ /S)
0		120	
1	1100	44	
2	1800	46	0.019
3	1350	52	0.021
4	1200	54	
5	800	67	0.023
6	1500	20	0.022
7	450	15	0.012
8	1400	24	0.015
9	380	18	0.015
10	400	22	0.012
11	1000	36	0.018
12	700	38	0.031

Cuadro 2. Datos de una red propuesta

ESQUEMATIZANDO LA RED

Con esta información ejecutamos el programa y procedemos a realizar el esquema. DERDAP v1.0 tiene un ingreso de nudos y líneas muy parecido a Epanet, con la desventaja de que el área para el esquema es solamente la ventana mostrada, por lo que se recomienda tratar de uniformizar la ubicación de los nudos.

INGRESANDO EL DEPÓSITO

Hacemos clic en el depósito  y lo ubicamos en el lugar que se desee. Siempre tendrá el nombre de cero (0). DERDAP v1.0 tiene la limitación de que solamente se puede ingresar un depósito por red.

INGRESANDO LOS NUDOS

Seguidamente creamos los nudos haciendo clic en ingresar nudo . Conforme ubicamos un nuevo nudo, éste se va enumerando en forma consecutiva.

La secuencia de ingreso de nudos debe hacerse ingresando primeramente el ramal principal, luego los ramales secundarios (Fig. 27).

INGRESANDO LAS CONEXIONES

Las conexiones con tuberías se realizan seleccionando ingresar tubería . Cada tubería conectada se enumera automáticamente con el nombre del nudo final. La secuencia de conexión debe darse empezando por el ramal principal y luego los secundarios (Fig. 27).

Es importante mantener este orden para que DERDAP v1.0 modele correctamente la red.

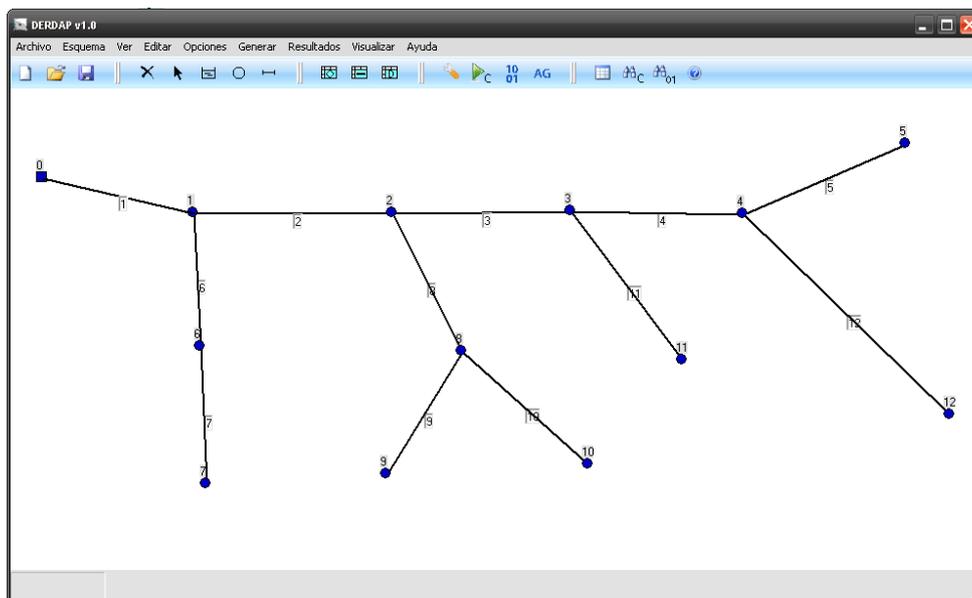


Fig. 27. Ingreso ordenado de nudos y conexiones



EDITANDO LOS NUDOS

Después de haber ingresado los nudos y realizadas las conexiones, seguimos con el proceso de edición. Hacemos clic izquierdo en la numeración del nudo, conexión o depósito y se visualizará una ventana que permite ingresar los datos correspondientes al elemento seleccionado. (Ver Capítulo1: Eventos del mouse).

Todos los nudos y conexiones ingresados se almacenan en una base de datos que se pueden verificar haciendo clic en el menú Ver, y en la barra de herramienta seleccionando Ver Nudos Archivados  o Ver Conexiones Archivadas .

ESCOGIENDO OPCIONES DE CÁLCULO HIDRÁULICO

Haciendo clic en opciones de cálculo  se visualizará la ventana de opciones. En esta ventana el usuario escoge el sistema de cálculo, las formulas y coeficientes de pérdidas, además de las restricciones de presión mínima requerida, velocidades y consideraciones de subdivisión de tuberías. (Ver Capítulo 2: Uso de menús > Opciones de Cálculo).

GENERANDO EL CÁLCULO

Después de haber seguido correctamente las instrucciones anteriores, se puede elegir el menú generar que consta de tres opciones: generar método convencional , generar método búsqueda binaria , y generar método algoritmos genéticos .

(Ver Capítulo2: Uso de menús > Menú Generar).

MOSTRANDO RESULTADOS

Para mostrar los resultados se selecciona tabla de resultados , donde abrirá una nueva ventana que contiene las opciones para elegir qué resultados desea revisar. (Ver Capítulo2: Uso de menús > Menú Resultados) (Fig. 28 y Fig.29).



TABLA DE RESULTADOS

N Inicio	N Fin	Longitud(m)	Cota(msnm)	qj(m ³ /s)	D1(mm)	L1(m)	D2(mm)	L2(m)	PT (mca)	fric1	fric2	Hf1(m)	Hf2(m)	HfT(m)	Z+hf(m)	Carga N(m)	Vel1(m/s)	Vel2(m/s)
0	1	1100	44	0.188	375.6	807.812	333.4	292.188	82	0.01285	0.0126	4.057	2.61	6.667	50.667	69.333	1.697	2.153
1	2	1800	46	0.154	337.6	1800	0	0	64	0.01307	0	10.514	0	10.514	63.181	56.819	1.72	0
2	3	1350	52	0.093	299.6	1042.822	237.8	307.178	64	0.01401	0.01346	4.327	3.886	8.212	77.394	42.606	1.319	2.094
3	4	1200	54	0.054	237.8	1019.531	190.2	180.469	64	0.01486	0.01428	4.802	2.494	7.296	86.689	33.311	1.216	1.901
4	5	800	67	0.023	190.2	362.5	152	437.5	64	0.01681	0.01609	1.07	3.793	4.863	104.552	15.448	0.81	1.268
1	6	1500	20	0.034	150.2	1500	0	0	82	0.01491	0	27.942	0	27.942	54.609	65.391	1.919	0
6	7	450	15	0.012	104.6	221.045	85.6	228.955	64	0.01703	0.01639	3.576	9.716	13.292	62.9	57.1	1.396	2.085
2	8	1400	24	0.042	187.8	1400	0	0	82	0.01492	0	13.035	0	13.035	54.217	65.783	1.516	0
8	9	380	18	0.015	150.2	126.914	103.2	253.086	82	0.01748	0.01626	0.54	6.534	7.073	55.29	64.71	0.847	1.793
8	10	400	22	0.012	104.6	377.344	85.6	22.656	64	0.01703	0.01639	6.105	0.961	7.066	59.283	60.717	1.396	2.085
3	11	1000	36	0.018	152	730.469	104.6	269.531	64	0.01689	0.01574	4.071	9.068	13.139	74.532	45.468	0.932	2.095
4	12	700	38	0.031	190.2	284.375	152	415.625	64	0.01585	0.0152	1.438	6.183	7.621	78.31	41.69	1.091	1.708

Fig. 28 Ventana que muestra los resultados Hidráulicos (ejm. Resultados por búsqueda binaria)

TABLA DE RESULTADOS

D Externo(mm)	D Interno(mm)	PT(mca)	Longitud Total(m)	Presio (\$)	V. Unitario(\$/m)	Valor Total (\$)
90	85.6	64	251.61	22.60	3.77	947.74
110	104.6	64	867.92	34.20	5.70	4,947.14
110	103.2	82	253.09	41.70	6.95	1,758.95
160	152	64	1,583.59	70.50	11.75	18,607.23
160	150.2	82	1,626.91	91.40	15.23	24,783.32
200	190.2	64	827.34	109.40	18.23	15,085.23
200	187.8	82	1,400.00	133.00	22.17	31,033.33
250	237.8	64	1,326.71	174.40	29.07	38,563.01
315	299.6	64	1,042.82	278.50	46.42	48,404.33
355	337.6	64	1,800.00	385.00	64.17	115,500.00
355	333.4	82	292.19	527.00	87.83	25,663.80
400	375.6	82	807.81	663.70	110.62	89,357.53
TOTAL						414,651.61

El presupuesto total en costos de tubería es de 414,651.61 Dólares por el método I pai-Wu y Búsqueda Binaria

Fig. 29 Ventana que muestra los resultados del presupuesto (ejm. Presupuesto por búsqueda binaria)

MANEJANDO LOS RESULTADOS

Con la opción exportar , se puede guardar las respuestas en un archivo **.txt (bloc de notas), de modo que el usuario pueda utilizar los resultados de la manera más conveniente.

Teniendo el archivo de texto se puede importar los datos desde Microsoft Excel.



CAPÍTULO IV

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

4.1 INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se compara la utilidad de la herramienta DERDAP v1.0 frente al Software EPANET 2. El propósito es comprobar que DERDAP v1.0 proporcione resultados confiables y muy satisfactorios en el cálculo hidráulico.

En este capítulo se compara los resultados obtenidos con el diseño económico por el método convencional, los resultados que ofrece el diseño por el método I-pai Wu - búsqueda binaria y los resultados proporcionados por algoritmos genéticos (AG)

EPANET es una herramienta de análisis hidráulico en el desarrollo de redes de distribución de agua a presión. Este software nos ofrece resultados muy satisfactorios, sus componentes de operación y aplicación son bastante amplios. El inconveniente es que se debe tantear los diámetros de las tuberías, y mediante prueba y respuesta encontrar la solución más óptima.

DERDAP v1.0 nos permite tomar los diámetros de una base de datos y los selecciona según la necesidad, evitando el tanteo y ahorrando tiempo.

4.2 RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SOTWARE EPANET

Para la comparación de resultados utilizaremos la fórmula de Darcy - Weisbach, material PVC, temperatura del agua a 17°C, diámetros almacenados en DERDAP v1.0 y como datos de la red los siguientes:

Cuadro IV.2-1. Cuadro de datos utilizados para el ejercicio propuesto

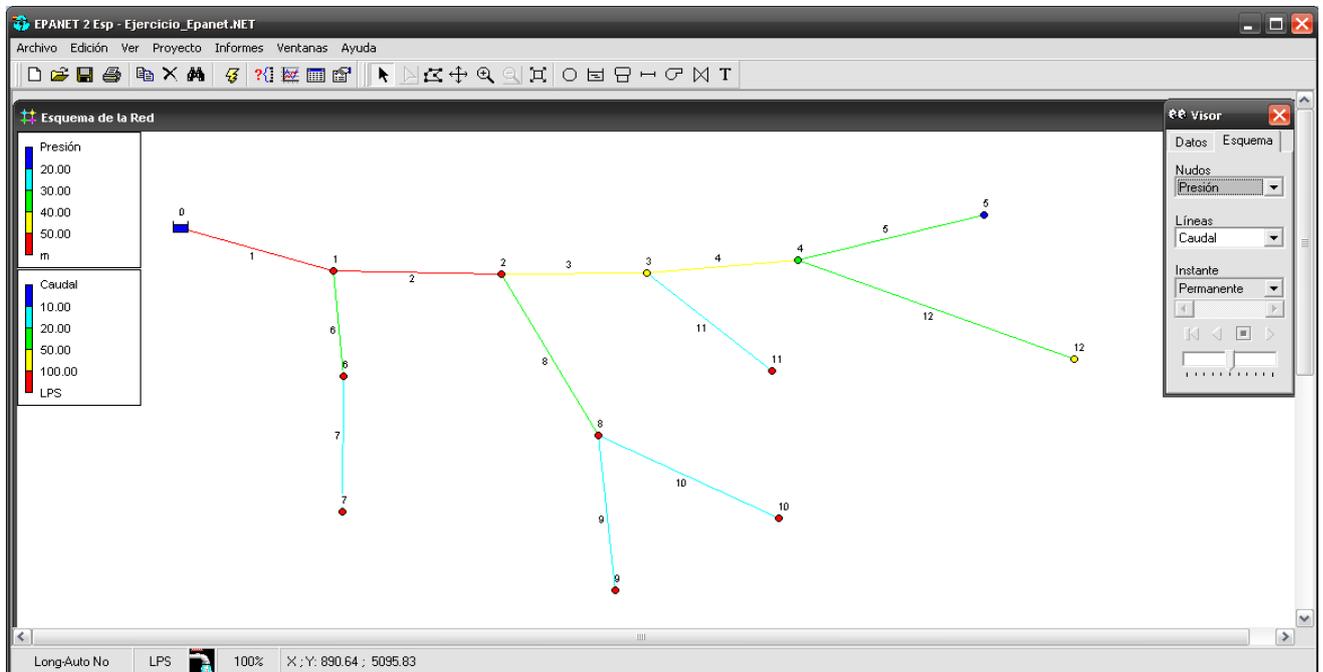
DATOS

NUDO #	L (m)	Z(m)	q(m3/S)
0		120	
1	1100	44	
2	1800	46	0.019
3	1350	52	0.021
4	1200	54	
5	800	67	0.023
6	1500	20	0.022
7	450	15	0.012
8	1400	24	0.015
9	380	18	0.015
10	400	22	0.012
11	1000	36	0.018
12	700	38	0.031

Fuente: El autor

4.2.1 ESQUEMA

Fig.IV.II-1 Esquema realizado en EPANET.



Fuente: El autor

4.2.2 RESULTADOS

NUDOS

Cuadro.IV.2-2 Cuadro de resultados de los nudos por EPANET

ID Nudo	Cota m	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Nudo 1	44	0.00	114.26	70.26
Nudo 2	46	19.00	103.33	57.33
Nudo 3	52	21.00	97.56	45.56
Nudo 4	54	0.00	91.75	37.75
Nudo 5	67	23.00	84.58	17.58
Nudo 6	20	22.00	103.59	83.59
Nudo 7	15	12.00	95.49	80.49
Nudo 8	24	15.00	89.79	65.79
Nudo 9	18	15.00	80.12	62.12
Nudo 10	22	12.00	83.05	61.05
Nudo 11	36	18.00	91.85	55.85
Nudo 12	38	31.00	80.85	42.85
Embalse 0	120	-188.00	120.00	0.00

Fuente: El autor

LÍNEAS

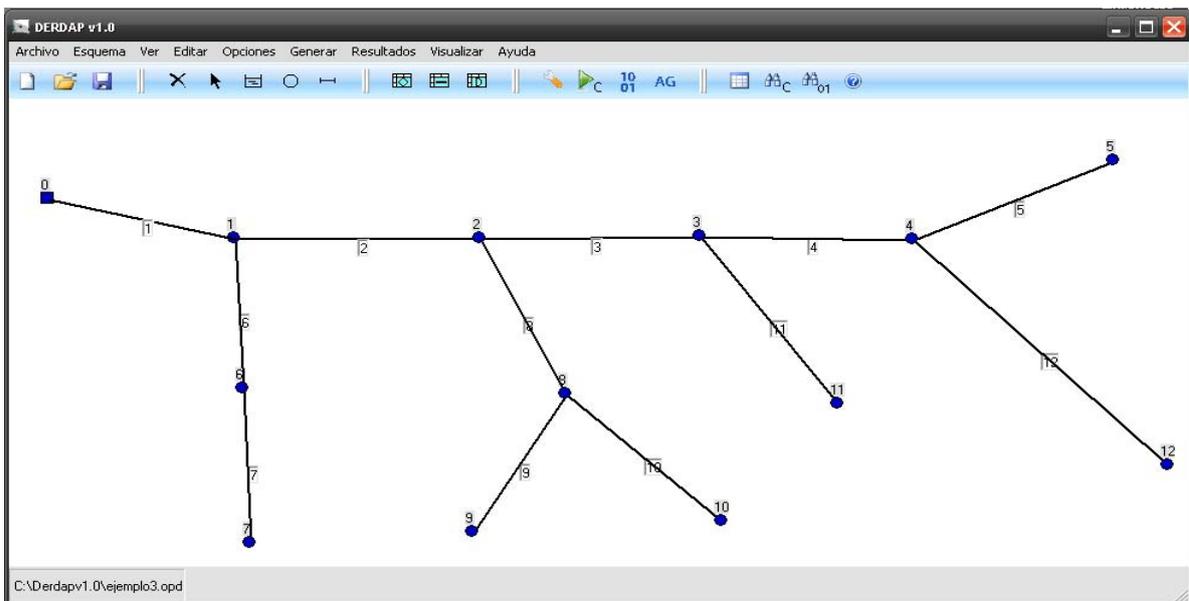
Cuadro.IV.2-3 Cuadro de resultados de las tuberías por EPANET

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Factor Fricción
Tubería 1	1100	375.6	188.00	1.70	5.22	0.013
Tubería 2	1800	337.6	154.00	1.72	6.07	0.014
Tubería 3	1350	299.6	93.00	1.32	4.27	0.014
Tubería 4	1200	237.8	54.00	1.22	4.84	0.015
Tubería 5	800	152	23.00	1.27	8.96	0.017
Tubería 6	1500	184.6	34.00	1.27	7.12	0.016
Tubería 7	450	103.2	12.00	1.43	17.98	0.018
Tubería 8	1400	187.8	42.00	1.52	9.67	0.016
Tubería 9	380	104.6	15.00	1.75	25.43	0.017
Tubería 10	400	104.6	12.00	1.40	16.83	0.018
Tubería 11	1000	152	18.00	0.99	5.71	0.017
Tubería 12	700	152	31.00	1.71	15.56	0.016

Fuente: El autor

4.3 RESULTADOS OBTENIDOS POR DERDAP v1.0 POR EL MÉTODO CONVENCIONAL

Cuadro.IV.3-1 Esquema realizado por DERDAP v1.0



Fuente: El autor

Cuadro.IV.3-2 Cuadro de resultados hidráulicos por DERDAP v1.0 método convencional

TABLA DE RESULTADOS														
N Inicio	N Fin	Longitud(m)	Cota(msnm)	Q(m3/s)	qij(m3/s)	D(mm)	^ PT (mca)	fric	hf(m)	hf nudo(m)	Z+hf(m)	Carga N(m)	Velocidad(m/s)	
0	1	1100	44	0	0.188	375.6	82	0.01285	5.524	5.524	49.524	70.476	1.697	
1	2	1800	46	0.019	0.154	337.6	64	0.01307	10.514	16.038	62.038	57.962	1.72	
2	3	1350	52	0.021	0.093	299.6	64	0.01401	5.601	21.64	73.64	46.36	1.319	
3	4	1200	54	0	0.054	237.8	64	0.01486	5.652	27.291	81.291	38.709	1.216	
4	5	800	67	0.023	0.023	152	64	0.01609	6.936	34.227	101.227	18.773	1.268	
1	6	1500	20	0.022	0.034	184.6	102	0.01548	10.348	15.872	35.872	84.128	1.27	
6	7	450	15	0.012	0.012	103.2	82	0.01698	7.767	23.639	38.639	81.361	1.435	
2	8	1400	24	0.015	0.042	187.8	82	0.01492	13.035	29.074	53.074	66.926	1.516	
8	9	380	18	0.015	0.015	104.6	64	0.0163	9.194	38.268	56.268	63.732	1.746	
8	10	400	22	0.012	0.012	104.6	64	0.01703	6.471	35.545	57.545	62.455	1.396	
3	11	1000	36	0.018	0.018	152	64	0.01689	5.573	27.213	63.213	56.787	0.992	
4	12	700	38	0.031	0.031	152	64	0.0152	10.414	37.705	75.705	44.295	1.708	

Fuente: El autor

Cuadro.IV.3-3 Cuadro de resultados del presupuesto (costo por longitud de tubería): DERDAP v1.0 método convencional

D Externo(mm)	D Interno(mm)	PT(mca)	Longitud Total(m)	Presio (\$)	V. Unitario(\$/m)	Valor Total (\$)
110	104.6	64	780.00	34.20	5.70	4,446.00
110	103.2	82	450.00	41.70	6.95	3,127.50
160	152	64	2,500.00	70.50	11.75	29,375.00
200	187.8	82	1,400.00	133.00	22.17	31,033.33
200	184.6	102	1,500.00	175.00	29.17	43,750.00
250	237.8	64	1,200.00	174.40	29.07	34,880.00
315	299.6	64	1,350.00	278.50	46.42	62,662.50
355	337.6	64	1,800.00	385.00	64.17	115,500.00
400	375.6	82	1,100.00	663.70	110.62	121,678.33
TOTAL						446,452.67

El presupuesto total en costos de tubería es de 446,452.67 Dólares por el método Convencional

Fuente: El autor

4.4 RESULTADOS OBTENIDOS POR DERDAP v1.0 POR EL MÉTODO DE I-pai WU Y BÚSQUEDA BINARIA

Cuadro.IV.4-1 Cuadro de resultados hidráulicos por DERDAP v1.0 método búsqueda binaria

N Inicio	N Fin	Longitud(m)	Cota(msnm)	qj(m3/s)	D1(mm)	L1(m)	D2(mm)	L2(m)	PT (mca)	fric1	fric2	Hf1(m)	Hf2(m)	HIT(m)	Z+hfi(m)	Carga N(m)	Vel1(m/s)	Vel2(m/s)
0	1	1100	44	0.188	375.6	807.812	333.4	292.188	82	0.01285	0.0126	4.057	2.61	6.667	50.667	69.333	1.697	2.153
1	2	1800	46	0.154	337.6	1800	0	0	64	0.01307	0	10.514	0	10.514	63.181	56.819	1.72	0
2	3	1350	52	0.093	299.6	1042.822	237.8	307.178	64	0.01401	0.01346	4.327	3.886	8.212	77.394	42.606	1.319	2.094
3	4	1200	54	0.054	237.8	1019.531	190.2	180.469	64	0.01486	0.01428	4.802	2.494	7.296	86.689	33.311	1.216	1.901
4	5	800	67	0.023	190.2	362.5	152	437.5	64	0.01681	0.01609	1.07	3.793	4.863	104.552	15.448	0.81	1.268
1	6	1500	20	0.034	150.2	1500	0	0	82	0.01491	0	27.942	0	27.942	54.609	65.391	1.919	0
6	7	450	15	0.012	104.6	221.045	85.6	228.955	64	0.01703	0.01639	3.576	9.716	13.292	62.9	57.1	1.396	2.085
2	8	1400	24	0.042	187.8	1400	0	0	82	0.01492	0	13.035	0	13.035	54.217	65.783	1.516	0
8	9	380	18	0.015	150.2	126.914	103.2	253.086	82	0.01748	0.01626	0.54	6.534	7.073	55.29	64.71	0.847	1.793
8	10	400	22	0.012	104.6	377.344	85.6	22.656	64	0.01703	0.01639	6.105	0.961	7.066	59.283	60.717	1.396	2.085
3	11	1000	36	0.018	152	730.469	104.6	269.531	64	0.01689	0.01574	4.071	9.068	13.139	74.532	45.468	0.992	2.095
4	12	700	38	0.031	190.2	284.375	152	415.625	64	0.01585	0.0152	1.438	6.183	7.621	78.31	41.69	1.091	1.708

Fuente: El autor



Cuadro.IV.4-2 Cuadro de resultados del presupuesto (costo por longitud de tubería): DERDAP v1.0 método búsqueda binaria

D Externo(mm)	D Interno(mm)	PT(mca)	Longitud Total(m)	Presio (\$)	V. Unitario(\$/m)	Valor Total (\$)
90	85.6	64	251.61	22.60	3.77	947.74
110	104.6	64	867.92	34.20	5.70	4,947.14
110	103.2	82	253.09	41.70	6.95	1,758.95
160	152	64	1,583.59	70.50	11.75	18,607.23
160	150.2	82	1,626.91	91.40	15.23	24,783.32
200	190.2	64	827.34	109.40	18.23	15,085.23
200	187.8	82	1,400.00	133.00	22.17	31,033.33
250	237.8	64	1,326.71	174.40	29.07	38,563.01
315	299.6	64	1,042.82	278.50	46.42	48,404.33
355	337.6	64	1,800.00	385.00	64.17	115,500.00
355	333.4	82	292.19	527.00	87.83	25,663.80
400	375.6	82	807.81	663.70	110.62	89,357.53
TOTAL						414,651.61

El presupuesto total en costos de tubería es de 414,651.61 Dólares por el método Ipai-Wu y Búsqueda Binaria

Fuente: El autor

4.5 RESULTADOS OBTENIDOS POR DERDAP v1.0 POR EL METODO DE ALGORITMOS GENÉTICOS (AG)

Figura. IV.5-1 Datos preliminares para el cálculo por AG.

ANÁLISIS POR ALGORITMOS GENÉTICOS	
Condiciones de Generación	
Número de Generaciones =	1000
Tamaño de la Población =	100
Probabilidad de cruce =	0,7 (0,6 - 1,0)
Probabilidad de mutación =	0,7 (0,6 - 1,0)
Coficiente de penalización K	
<input type="radio"/> Metodo del verificador de presión (VDP)	
Presión máxima (mca)	127
Presión mínima (mca)	15
<input type="radio"/> Importancia relativa al costo social del proyecto	
Escasa importancia	1
<input checked="" type="radio"/> Otro...	1.00 (0 - 2)
Generar...	
Ver Resultados	

Fuente: El autor

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

5.1.1 CONCLUSIÓN GENERAL

- De forma satisfactoria se diseñó económicamente redes de distribución de agua a presión por los tres métodos propuestos

5.1.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

- Se creó una base de datos con tuberías del mercado con sus respectivas características físicas y económicas.
- Se analizó los métodos de pendiente crítica y velocidad máxima, así mismo la utilización de las fórmulas propuestas por Hazen-Williams, Darcy-Weisbach y Chezy-Manning, las mismas que sirvieron para el cálculo de redes ramificadas.
- Se aplicó el método de I-pai Wu, búsqueda binaria y el algoritmo genético en una red propuesta como ejemplo y se comparó sus resultados.
- Se creó un software académico que permite calcular, analizar y determinar la solución más efectiva en el diseño óptimo-económico de redes ramificadas de distribución de agua a presión por el método Convencional, I-pai Wu, Búsqueda Binaria y Algoritmos Genéticos.
- Se comparó los resultados de EPANET frente a DERDAP v1.0 **por el método convencional**, puesto que ambos realizan un cálculo semejante, y se puede observar que DERDAP v1.0 por el método convencional brinda un resultado muy confiable, y se encuentra a la par en el cálculo hidráulico.
- Se determinó que los resultados de DERDAP v1.0 por el método de I-pai Wu y Búsqueda Binaria nos proporciona un resultado óptimo-económico con respecto al método convencional.
- La programación por el método de algoritmos genéticos se desarrolló en Visual Basic.Net
- Se comprobó que un resultado óptimo con algoritmos genéticos, depende del número de generaciones y número de población que el interesado determine para cada tipo de red.



- El tiempo que tarda en el cálculo por AG depende del número de generaciones y tamaño de la población, para una red de doce líneas con mil generaciones y cien individuos el proceso tarda quince minutos aproximadamente.
- El procedimiento de cruce en la reproducción de individuos por algoritmos genéticos es completamente aleatorio y proporciona resultados no válidos.
- La interfaz gráfica de DERDAP v1.0 solamente sirve como esquema de referencia visual.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar sobre métodos de cruce, para mejorar el programa por el método de algoritmos genéticos, de tal manera que se pueda mejorar la reproducción y evitar que el algoritmo no sea completamente aleatorio.
- En el desarrollo de la presente herramienta DERDAP, se presentó un problema en el uso del lenguaje de programación (Visual Basic 6.0). Este lenguaje de programación no permite desarrollar codificación de números binarios y manejar Algoritmos Genéticos. Por lo que se recomienda trabajar en lenguajes de programación orientados a objetos tales como: Visual Basic.Net, JAVA, C#, etc.
- Se recomienda que se realice una modificación en la interfaz gráfica, para que permita ubicar los nudos por coordenadas, así mismo que las tuberías tomen sus longitudes manual y automáticamente.
- Se recomienda actualizar la versión, incluyendo en el cálculo un análisis con varios depósitos y la posibilidad de resolver redes cerradas.
- Se recomienda utilizar DERDAP v1.0 en la asignatura de ofimática de hidráulica como complemento académico online.
- Se recomienda que antes de utilizar DERDAP v1.0 se lea el manual del usuario, se siga el procedimiento de ingreso de nudos y conexiones principalmente.



CAPÍTULO VI

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ANDREW L. SIMON (1986); Hidráulica Práctica, 1^{ra} Edición, México.
- SOTELO; Hidráulica General, Volumen 1, México
- JUAN G. SALDARRIAGA V (1998); Hidráulica de Tuberías
- JUAN G. SALDARRIAGA (2007); Hidráulica de tuberías, Abastecimiento de aguas, redes, riegos, Alfaomega Bogotá.
- GOMES PIMENTEL HEBER; PEREZ GARCIA RAFAEL (2007); Abastecimiento de agua o estado da arte e técnicas avançadas, editorial Universit UFPB.
- AUGUSTÍN MATÍAS SÁNCHEZ; (2003) Diseño de redes de distribución de agua contemplando la fiabilidad, mediante Algoritmos Genéticos, Tesis Doctoral (Pdf), Universidad Politécnica de Valencia.
- HOLGER BENAVIDES MUÑOZ (2006, 2009), Hidráulica I, Apuntes de clase.
- JOSÉ SANCHEZ PALADINES (2006), Mecánica de Fluidos, Apuntes de clase
- MARTIN DEL BRIO, BONIFACIO. Y ZANS (2006), Redes Neuronales y Sistemas Difusos, 2^{da} edición, Ra-Ma Editorial, Madrid-España.

LINKS

- Germán Villalba Fernández, Juan G. Saldarriaga (2005): Algoritmos de optimización combinatoria (AOC) aplicados al diseño de redes de distribución de agua potable, Universidad de los Andes, <http://revistainq.uniandes.edu.co> , consulta junio de 2008, página activa.
- Juan G. Saldarriaga V, Daniel Eduardo Salas, Rafael Gómez Días: Aplicabilidad de métodos de inteligencia artificial a la calibración de redes de acueducto, Universidad de los Andes, <http://ciacua.uniandes.edu.co/I-Saldarriaga-Colombia-1.pdf> , consulta junio de 2008, página activa.
- Fiszlelew, García-Martínez (2002): Generación automática de redes neuronales con ajuste de parámetros basado en algoritmos genéticos, Universidad de Buenos Aires, <http://laboratorios.fi.uba.ar/lsi/R-ITBA-26-rrnn-ags.pdf> , consulta Julio de 2008, página activa.
- Myspace.com: http://es.wikipedia.org/wiki/Ecuaci%C3%B3n_de_Hazen-Williams, consulta octubre de 2008, página activa.
- Diego Beltrán, Carlos Erazo (2008): Optimización de redes de riego a presión por medio de computación evolutiva, Universidad Nacional de Colombia, <http://riegosun.tp2p.com/files/CompuEvolutiva.pdf> , consulta diciembre de 2008, página activa.
- M^a. P. Montesinos, A. García-Guzmán, J. L. Ayuso (1996): Optimización de redes de distribución de agua utilizando un algoritmo genético, Universidad de Córdoba, <https://upcommons.upc.edu/revistes> , consulta diciembre de 2008, página activa.