matemática: Una publicación del ICM – ESPOL
2008, Vol. 6, No. 1

OPTIMIZACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS USANDO UN ALGORITMO GENÉTICO INSTANCIA ALPEROVITZ Y SHAMIR 1977

Bustamante Johni [1]

Resumen: *El problema de redes malladas presurizadas cerradas es un problema de característica muy compleja por la cantidad de diámetros a elegir en las tuberías de una red, y que en una red se pueden tener muchas mallas básicas haciendo al problema un problema del tipo NP duro, por lo tanto la solución buscada en este planteamiento es usando meta heurísticas (Algoritmos evolutivos o genéticos) y nuestros resultados los comparamos con los resultados de otros autores en artículos de revistas indexadas, además los resultados son verificados con el uso de EPANET.*

Palabras Claves: Algoritmos evolutivos, genéticos, meta heurísticas, cromosoma, Epanet, mallas, red, presión, caudal, velocidad, fitness, mutación.

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta un algoritmo genético con procedimientos de selección natural y mutación, diferentes a otras aplicaciones de los algoritmos genéticos, lo cual hace que este algoritmo sea un poco innovador y sus resultados mucho mejores a los obtenidos por otros métodos (inclusive otros algoritmos genéticos), y de características de convergencia bastante rápidas. Además se confrontan estos resultados con los resultados obtenidos con EPANET, el cual tomaremos como software que sirve de norma de los resultados.

2. MARCO TEÓRICO

Los Algoritmos genéticos se basan en el modelo evolutivo propuesto por Charles Darwin, en el cual se relatarán las siguientes etapas:

- Selección Natural
- Cruce
  - Proceso de cruce (Point cross)
  - Mutación.
- Nueva generación

3. INDIVIDUO DE LA GENERACIÓN

A los individuos de la una generación los representaremos con un cromosoma, en nuestro caso el individuo será una red representada:

{1, 2}	{1, 4}	{2, 3}	{2, 5}	{3, 6}	{4, 5}	{5, 6}

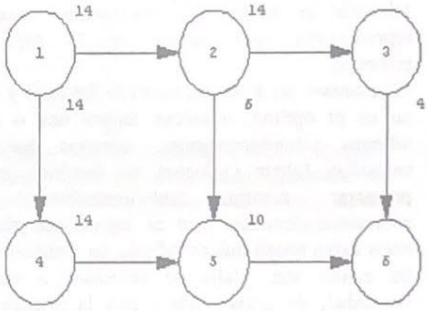
14	14	14	6	4	14	10

Donde estos elementos representan a un individuo (Cromosoma), sus partes o subdivisiones son los alelos y en su respectivo orden tenemos los arcos de la red y el valor en este arco (alelo) es su diámetro.

FIGURA I

OPTIMIZACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS USANDO UN ALGORITMO GENÉTICO INSTANCIA ALPEROVITZ Y SHAMIR 1977

Malla de referencia, estudiada por Alperovitz y Shamir



4. FITNESS DEL INDIVIDUO

La definición del fitness en un individuo de la generación es la fuerza de este individuo para sobrevivir o lo mismo su mejor adaptación, lo cual comúnmente se define como individuos fuertes y a la vez mejores para reproducirse, en nuestro caso el fitness de un individuo será el costo de la malla y por supuesto se considera como mejor individuo aquel que tenga menor costo.

---

[1] *Bustamante Johni, Master, Profesor de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL); (e_mail: jobustam@espol.edu.ec).*

5. GENERACIÓN

La generación o población de los algoritmos genéticos comúnmente se definen como un conjunto de individuos que cumplen ciertas características que suelen ser las restricciones del problema lo cual hace a estos individuos como soluciones factibles del problema.

Este trabajo se diferencia en la aplicación de este concepto, es decir, tomaremos como población a cualquier individuo (malla) indiferentemente que esta cumpla las condiciones del problema, es decir tendremos soluciones factibles y no factibles.

A las soluciones factibles los llamaremos Romeo y los no factibles Julieta, para hacer alusión que las soluciones factibles se consideran solo a los Romeo y que el apareamiento o cruce se realizará entre factibles y no factibles.

La idea de realizar este tipo de selección para el cruce no es producto de la pura imaginación, este responde a un razonamiento que más adelante detallaremos.

6. SELECCIÓN NATURAL

La ciencia ha descubierto que la selección natural de seres vivos no es tan casual, ella responde a una serie de procesos, algunos sostienen la afinidad a un color, la compatibilidad de caracteres etc., teniendo en cuenta esto la selección de parejas que realizaremos para su reproducción será basada en el siguiente principio:

-Si tenemos un Romeo (solución factible) y este no es el óptimo, entonces tendrá una o mas tuberías sobredimensionas, mientras que un individuo Julieta (solución no factible) puede presentar tuberías subdimensionadas o sobredimensionadas, esto es lógico por cuanto estos casos hacen que se infrinja las restricciones, las cuales son falta de velocidad o mucha velocidad, de igual manera con la presión, es decir, puede tener menos de la presión necesaria o mas presión de la necesaria.

La idea entones es cruzar un Romeo con una Julieta así obtener dos nuevos individuos en el mejor de los casos se tendrá un nuevo Romeo y una Julieta con mejores características.

La cantidad de individuos en nuestro algoritmo no es necesariamente muy grande, se trabaja muy bien con una población de 10 a 20 individuos.

Ahora supongamos que trabajamos con 10 individuos en cada generación, y en la primera generación tenemos 3 Romeos y 7 Julietas. Entonces seleccionamos para el cruce a 3 de las 7 Julietas (las mejores) y 3 de los Romeos, teniendo así a 6 nuevos individuos en la generación nueva faltando 4, estos cuatro individuos los tomamos aleatoriamente para completar la cantidad deseada. Este proceso de completar los individuos en la práctica ayuda mucho a refrescar cuando el algoritmo tiende a quedarse en un óptimo local.

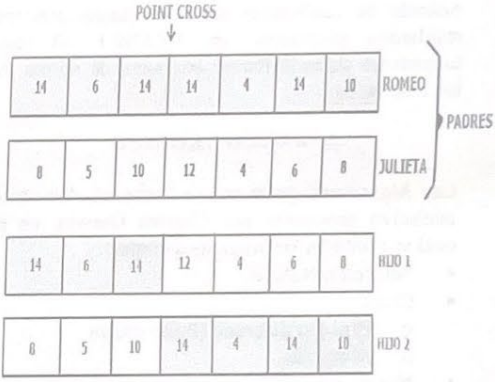
En el caso de existir 5 Romeos y 5 Julietas entonces se toman 4 Julietas y se reemplaza a la quinta como un individuo aleatorio.

7. CRUCE

Luego de la selección de parejas realizamos el cruce siguiendo el criterio más común el cual es tomar la mitad del cromosoma del uno con la mitad del otro y formar dos nuevos individuos.

FIGURA 2

OPTIMIZACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS USANDO UN ALGORITMO GENÉTICO
INSTANCIA ALPEROVITZ Y SHAMIR 1977
Cruce



Luego a estos nuevos individuos los clasificamos como Romeo o Julieta.

8. MUTACIÓN

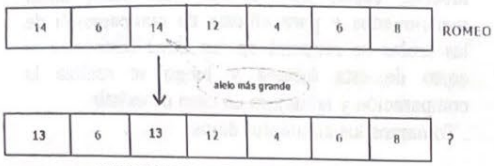
El concepto de mutación por lo general es cambiar un gen (Valor de un alelo o diámetro de una tubería), en nuestro trabajo la idea es similar pero bajo el siguiente principio:

Si tenemos un Romeo (solución factible) y éste no es la solución óptima entonces al hacer la tubería (más grande o una unidad más pequeña) tenemos dos posibles resultados, el Romeo se queda Romeo pero con mejor fitness o se transforma en Julieta.

FIGURA 3

OPTIMIZACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS USANDO UN ALGORITMO GENÉTICO
INSTANCIA ALPEROVITZ Y SHAMIR 1977

Mutación



CROMOSOMA LUEGO DE LA MUTACIÓN

Este proceso no termina en un solo cambio del alelo, este proceso se repite hasta que el individuo cambie de estado, es decir Romeo pasa a Julieta, en ese momento termina el proceso Mutación.
Lo mismo hacemos con Julieta pero cambiamos ahora al menor de los alelos por una más grande hasta que éste cambie de estado. Este proceso puede no converger, para eso analizamos también el cambio realizado con los Romeo cuando el caso lo necesita, o simplemente se realiza un criterio de parada, es decir se puede tomar 5 cambios y si el estado no ha cambiado queda así.

9. CONDICIONES DE SERVICIO

Tenemos un proceso de valoración (Cálculo de las velocidades y presiones) y un proceso de verificación de restricciones o condiciones de servicio (Velocidades y presiones) el cual detallaremos.

10. VALORACIÓN

El proceso de valoración consiste en realizar los cálculos de distribución de caudal y balanceo de pérdida (*h*).
Para realizar esta valoración se ha elegido el método iterativo de balanceo de Hardí Cross, el cual consiste en:
-Elegir una distribución de Caudal cualquiera y luego cambiar este caudal hasta que las ecuaciones de balanceo de perdidas se cumpla y queda balanceada la malla.
Tenemos:

$$\begin{cases} \sum_{j\in A_i} q_{ij} = Q_i & i = 1,\dots,N-1 \\ \sum_{(ij)\in M_k} (\pm)_{ij} R_{ij}\left(q_{ij}{}^n\right) = 0 & k = 1,\dots,M \end{cases}$$

Donde M_k son respectivamente las mallas de la red.

La primera ecuación establece la distribución de caudal, y la segunda el balanceo de las pérdidas de carga en cada malla, ver Figura 1.
Si se toma una distribución cualquiera de caudales entonces se cumplirá la primera ecuación pero la segunda no se cumplirá necesariamente, por tanto se cambia el valor de caudal $q_{ij} \to q_{ij}{}^{\bullet}(\pm)_{ij}\,\Delta q_k$, este cambio no varía la primera ecuación pero la segunda si tal que: $\sum\left(rQ^n\right) \neq 0$ con la variación tenemos $\sum\left[r\left(Q+\Delta Q\right)^n\right] = 0$, al desarrollar este binomio de Newton tenemos:

$$\left(Q+\Delta Q\right)^n = Q^n + nQ^{n-1}\Delta Q + \frac{n(n-1)}{2!}Q^{n-2}\Delta Q^2 + \ldots + \Delta Q^n$$

La variación es pequeña por tanto podemos aproximar a cero los valores con potencias mayores y nos quedan solo los primeros

$\left(Q+\Delta Q\right)^n \approx Q^n + nQ^{n-1}\Delta Q$ Entonces

$$\sum r\left(Q^n + nQ^{n-1}\Delta Q\right) = 0$$

y despejamos obteniendo el primer valor de variación de los caudales:

$$\Delta Q = \frac{-\sum rQ^n}{n\sum rQ^{n-1}} = \frac{-\sum rQ^n}{n\sum r\dfrac{Q^n}{Q}} = \frac{-\sum H}{n\sum \dfrac{H}{Q}},$$

$$\Delta Q = \frac{-\sum H}{1{,}85\sum \dfrac{H}{Q}}$$

Con estos nuevos caudales, volvemos a repetir el proceso hasta que la red quede balanceada. Se puede decir que este proceso es de muy rápida convergencia.

11. IMPLEMENTACIÓN

FIGURA 4

OPTIMIZACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS USANDO UN ALGORITMO GENÉTICO
INSTANCIA ALPEROVITZ Y SHAMIR 1977
Implementación

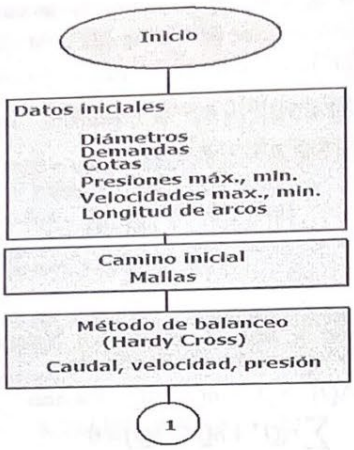
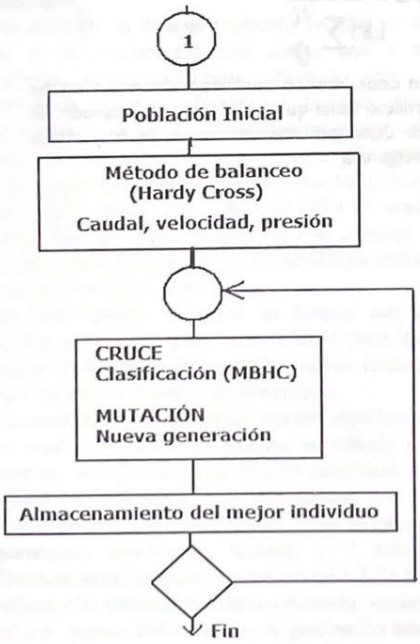


FIGURA 5

OPTIMIZACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS USANDO UN ALGORITMO GENÉTICO
INSTANCIA ALPEROVITZ Y SHAMIR 1977
Implementación



12. CONCLUSIÓN

Se puede resaltar un factor muy importante en la comparación de resultados: que la tubería inicial (del tanque al nodo 1) no se considera en nuestro cálculo, es decir, hasta el nodo uno llega la tubería, capaz de soportar los datos antes mencionados y para efectos de comparación de las tablas se reducirá en las otras instancias el costo de ésta tubería y luego se realiza la comparación y la mejora en caso de existir.

Tomamos los siguientes datos:

TABLA I

OPTIMIZACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS USANDO UN ALGORITMO GENÉTICO
INSTANCIA ALPEROVITZ Y SHAMIR 1977
Tabla de Datos

Diámetro (pulg.)	Diámetro (mm.)	Costo (Units)
1	25,4	2
2	50,8	5
3	76,2	8
4	101,6	11
6	152,4	16
8	203,2	23
10	254,0	32
12	304,8	50
14	355,6	60
16	406,4	90
18	457,2	130
20	508,0	170
22	558,8	300
24	609,6	550

DW-DT-030-2003, es el documento de Hernández, Velásquez, Gavilán y Jaramillo.

TABLA II

OPTIMIZACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS USANDO UN ALGORITMO GENÉTICO
INSTANCIA ALPEROVITZ Y SHAMIR 1977

Tabla de Datos

Tramo	Epanet (1)		Modelo		DW-DT (2)		Variación Porcentual (1)		Variación Porcentual (2)	
	Q (LPS)	V (m/s)	Q (LPS)	V (m/s)	Q (LPS)	V (m/s)	Q	V	Q	V
1 – 2	141,96	1,43	142,111	1,43091	142,13	-	0,106%	0,06%	0,013%	-
1 – 4	141,44	1,42	141,289	1,42263	141,27	-	0,107%	0,18%	0,013%	-
2 – 3	96,65	0,97	96,7205	0,973877	96,73	-	0,07%	1,19%	0,009%	-
2 – 5	12,02	0,66	12,0907	0,662812	12,11	-	0,58%	0,39%	0,159%	-
3 – 6	4,95	0,61	5,02	0,6192476	5,03	-	1,39%	0,014%	0,199%	-
4 – 5	113,64	1,14	113,489	1,1427	113,47	-	0,133%	0,24%	0,017%	-
5 – 6	50,.65	1,00	50,5795	0,998197	50,57	-	0,139%	0,18%	0,019%	-

TABLA III

OPTIMIZACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS USANDO UN ALGORITMO GENÉTICO
INSTANCIA ALPEROVITZ Y SHAMIR 1977

Tabla de Datos

Nodo No.	Cota (m)	Demanda (LPS)	Presión (mca.)			Variación Porcentual (1)	Variación Porcentual (2)
			Epanet (1)	Modelo	DW-DT (2)		
1	155	27,8	54,95	55	53,222	0,091%	3,233%
2	155	33,3	45,20	45,82	42,7700	1,353%	6,657%
3	165	91,7	32,93	33,77	30,1284	2,487%	10,784%
4	160	27,8	40,23	40,87	37,8400	1,566%	7,414%
5	150	75	47,14	48,11	44,2667	2,015%	7,988%
6	160	55,6	33,54	34,93	30,7700	3,979%	11,91%

TABLA IV

OPTIMIZACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS USANDO UN ALGORITMO GENÉTICO
INSTANCIA ALPEROVITZ Y SHAMIR 1977
Tabla de Resultados

Tubería No.	Alperovitz y Shamir (1977)		Montesinos y Colaboradores (1966)	DW-DT (2002)	Modelo (2007)
	L (m)	D (pulg.)	D (pulg.)	D (pulg.)	D (pulg.)
Tanque - 1	256	20	20	18	0
	744	18			
1 – 2	1000	18	16	14	11
	0	0			
1 - 4	996,38	8	10	14	11
	3,62	6			
2 - 3	1000	16	16	14	12
	0	0			
2 - 5	319,38	8	4	6	6
	680,62	6			
3 - 6	784,94	12	10	4	4
	215,06	10			
4 - 5	1000	6	8	14	12
	0	0			
5 - 6	990,93	6	3	10	10
	9,07	4			
COSTO INICIAL	497.525		456.000	429.000	251.000
DIFERENCIA POR TUBERIA T - 1	140.240		170.000	130.000	
COSTO REAL	357.285		286.000	299.000	**251.000**
METODOLOGIA DE SOLUCION	PROGRAMACION LINEAL		ALGORITMO GENETICO	MIP	ALGORITMO GENÉTICO
TIEMPO DE SOLUCIÓN (seg.)	-		-	6,68	4,703
% de mejora	29.7%		12.23%	16.05%	Mejor

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS

[1]. LÓPEZ CUALLA RICARDO ALFREDO. (2006). *"Elementos de Diseño para acueductos y alcantarillados"*, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Segunda Edición.

[2]. HERNÁNDEZ, VELÁSQUEZ, GAVILÁN Y JARAMILLO, (2003). *"Diseño de Redes de Distribución de Agua"*. DW-DT-030-2003, DecisonWare.Ltda., Colombia. jvelasquez@decisionware-ltd.com

[3]. HERNÁNDEZ GERMAN, PH.D, (2007). *Algoritmos Evolutivos*. "XIV Jornadas en Estadística Informática, ESPOL" Guayaquil - Ecuador.

[4]. ÁREA MECÁNICA DE FLUIDOS. *"Manual de Prácticas de Fundamentos de la Mecánica de Fluidos"*. Practica 2: Simulación de Redes Ramificadas. Departamento de Tecnología. Universitat Jaume I.

[5]. FADLO CURI1 WILSON E MACEDO FIRMINO MOSEFRAN BARBOSA, *UM MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO ÓPTIMO DE REDES PRESSURIZADAS* MALHADAS VIA PROGRAMAÇÕES NÃO LINEAR E LINEAR, wcuri@df.ufpb.br.