

# APLICACIÓN DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS MULTI-OBJETIVO SPEA & MAGMO EN EL DISEÑO OPTIMO DE LA RED DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE SECTOR VIÑANI, TACNA, PERÚ

Edwin Pino Vargas<sup>1</sup>, Violeta Quevedo Porras<sup>2</sup>, Luis Alfaro Ravello<sup>3</sup>, César Avendaño Jihuallanga<sup>4</sup> y Jesús Mejía Marcacuzco<sup>5</sup>

<sup>1,3,4</sup>Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú. Av. Miraflores s/n. Tel: 51-52-583000

<sup>2</sup>Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú Av. Jorge Basadre s/n. Tel: 966 13 44 24

<sup>5</sup>Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú Av. La Universidad s/n Tel. 51-1-614-7800  
E-mail: <sup>1</sup>epinov@unjb.edu.pe, <sup>3</sup>lalfaror@unjb.edu.pe <sup>2</sup>zarelaq@gmail.com, <sup>5</sup>jabel@unalm.edu.pe

## Resumen

El diseño óptimo de redes de distribución es consecuencia de un estudio hidráulico detallado, que se ha adaptado a los criterios de ingeniería, a las exigencias económicas y a la normativa vigente. (Yates et al., 1984), afirman que se necesita encontrar el método aproximado más efectivo que garantice calidad en los diseños para extender la cobertura del servicio de agua potable. En este contexto se aplica el Algoritmo Evolutivo Multiobjetivo (SPEA) para comprobar su efectividad en la red del Sector Viñani de la ciudad de Tacna con los resultados obtenidos aplicando el Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo (MAGMO) con el fin de determinar cuál es el método más efectivo para el diseño de redes de distribución de agua potable. Se pretende mediante este proceso de optimización planteado la búsqueda de la red de mínimo costo y máxima confiabilidad, que a su vez está sujeta a múltiples restricciones del tipo hidráulicas y normativas. Se trata de una red que tiene un reservorio, con veinte circuitos básicos, noventa y un nodos y ciento treinta y nueve tuberías. No se consideran las pérdidas menores en las tuberías.

Los resultados indicaron que la red optimizada con MAGMO presentó un mejor desempeño para el diseño óptimo de redes de agua que la red sin criterios de optimización, así como, la solución con SPEA. Sin embargo se demuestra que la aplicación de un algoritmo genético multiobjetivo es una efectiva técnica frente a una red sin ningún criterio de optimización.

**Keywords:** Algoritmos genéticos, Optimización multiobjetivo, Redes de agua.

## Algoritmo evolutivo multiobjetivo de frente de Pareto (SPEA)

El SPEA ha sido desarrollado por (Zitzler y Thiele, 1999). Se trata de un algoritmo que presenta características exclusivas frente a otros, radica en que guarda las soluciones no dominadas en una población externa, las cuales constituyen el frente de Pareto. Además, usa el concepto de Dominancia Pareto para asignar un valor "fitness" (aptitud) a los individuos, donde se incluye un conjunto de características en un único algoritmo que antes se habían presentado aisladas.

Es importante indicar que el "fitness" de un individuo está determinado a partir de las soluciones que se encuentran solo en la población de individuos no dominados y todas las soluciones que forman parte del conjunto externo de soluciones no dominadas participan en la selección.

De igual manera, una población es un conjunto de individuos que poseen una configuración de diámetros para cada tramo en las tuberías de la red de distribución de agua. Por lo tanto, el SPEA ha sido aplicado a las redes de distribución de agua, y se ha establecido según su funcionamiento en el diagrama Figura 1.

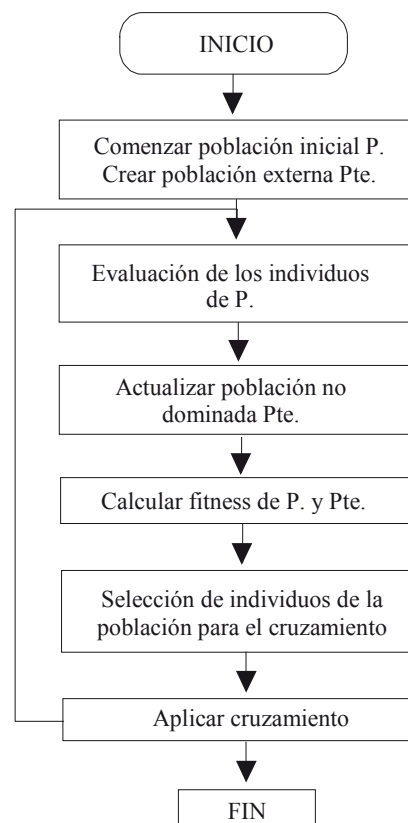


Figura 1.- Diagrama de flujo del SPEA propuesto.

## Metodología de optimización propuesta

Para la aplicación de la metodología propuesta, se ha planteado su efectuarla en la red del Sector Viñani que presenta 1 reservorio, 20 circuitos, 91 nodos y 139 tuberías; siendo 8 los diámetros comerciales disponibles, el número de soluciones posibles es de  $3.38 \times 10^{125}$ . Para aplicar el algoritmo se empleará como método de cálculo hidráulico el método del Gradiente junto a las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Colebrook-White. La rugosidad absoluta considerada es de  $1.5 \times 10^{-6} \text{m}$  y viscosidad del fluido de  $1.4 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ , la presión mínima requerida en los nodos por la normativa peruana es 10 m.c.a.

En cuanto a los parámetros que usa el AG, los más significativos son: el tamaño de la población, el número de generaciones, la probabilidad de cruce y la probabilidad de mutación. La elección de posibles tamaños de la población para representaciones binarias de longitud fija, se puede calcular en función de la longitud de los cromosomas. Asimismo, el número esperado de generaciones hasta la convergencia puede verse como una función logarítmica del tamaño de la población

(Coello, 2000). Para la optimización del SPEA se utilizó los siguientes parámetros; Número de generaciones 25. Número de genes de los pobladores 139. Tamaño de individuos 16. Número de torneos binarios 4. Cruzamiento 1 Punto y Números de hijos 4.

### Funciones objetivo de confiabilidad y costos

La función de confiabilidad, expresada por el índice de resiliencia de una red de agua según la ecuación [1], que se define como la capacidad de un sistema de reaccionar ante un estado de esfuerzos o el incremento de la redundancia energética y decrecimiento de la energía disipada internamente en una red (Prasad y Park, 2004), (Pino et al., 2017).

$$I_r = \frac{\sum_{j=1}^{nu} C_j Q_j (H_j - H_j^*)}{\sum_{i=1}^{ne} Q_e H_e - \sum_{j=1}^{nu} Q_j H_j^*} \quad [1]$$

Siendo:  $I_r$ : índice de resiliencia,  $Q_j$ : Caudal demandado en cada nudo.  $Q_e$ : Caudal entregado por el reservorio.  $H_e$ : Altura piezométrica del reservorio.  $H_j$ : Altura piezométrica real.  $H_j^*$ : Altura piezométrica ideal.  $nu$ : número de nudos.  $ne$ : número de reservorios.

La función de costos según la ecuación [2], está conformada principalmente por el costo de las tuberías y accesorios a instalarse, los cuales varía exponencialmente de acuerdo al diámetro de la tubería así como el costo de instalación de las tuberías y accesorios.

$$C_T = \sum_{i=1}^{nt} K_1 L_i D_i^{k_2} \quad [2]$$

Siendo:  $C_T$ : Costo total de la red.  $K_1$ : Constante en unidades monetarias.  $L_i$ : Longitud de la tubería en particular.  $D_i$ : Diámetro de una tubería en particular.  $k_2$ : Constante adimensional.  $Nt$ : número de tuberías de la red.

### Resultados y discusión

En la Figura 2, se observa el resultado del procesamiento de la iteración 1 a 25, nos muestra la población de respuestas y el óptimo de Pareto tomando en cuenta las soluciones que cumplen las restricciones impuestas.

La Figura 3, muestra la comparación de resultados de los métodos estudiados, obteniéndose un mínimo 0.42 y un costo mínimo de S/ 2530803.86, los resultados máximos fueron de 0.95 y S/ 2579050.81 para la confiabilidad y costo respectivamente.

La elección de la red óptima es la más adecuada al estar ubicadas todas las respuestas en el frente de Pareto, siendo el diseñador quién tendrá que elegir entre el que tenga menor costo y baja confiabilidad; la de mayor confiabilidad que genera un mayor costo o elegir con características intermedias.

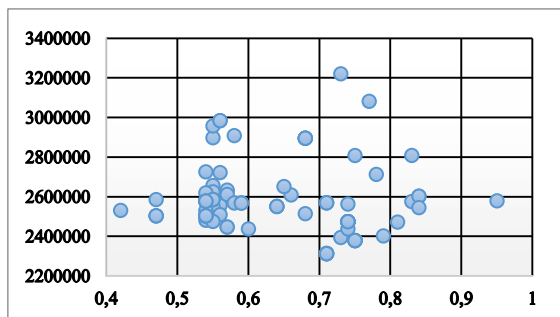


Figura 2.- Iteración 1 al 25.

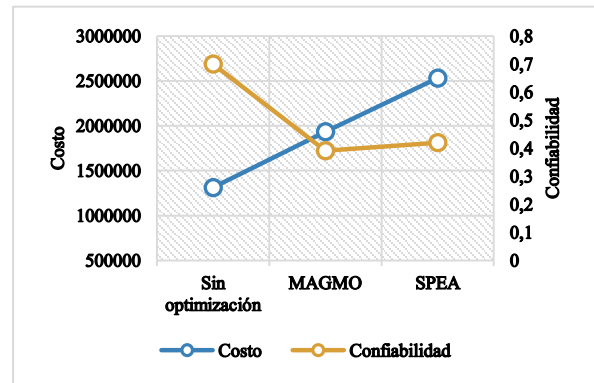


Figura 3.- Iteración 1 al 25.

### Conclusiones

El SPEA se aplica a redes de gran tamaño, minimiza el problema y reduce los tiempos de cálculo. Realiza un análisis integral que implica una optimización simultánea de dos funciones objetivo: Máxima confiabilidad y mínimo costo para un diseño óptimo que asegura la calidad del método. De este modo, se puede adoptar cualquier alternativa de acuerdo a las necesidades.

Se evidencia notables mejoras respecto a los métodos tradicionales de diseño que se limitan a verificar condiciones hidráulicas y no pretenden optimizar el diseño de la red de agua potable. El costo estimado de la red optimizada es económicamente superior a la red sin optimización (S/. 2 530 803.86 vs S/. 1 311 550.83), sin embargo al incluir como parámetro a optimizar en el diseño la confiabilidad de la red de agua potable, se hizo evidente que la red más confiable es la optimizada con un índice de resiliencia de 0.42 contra un índice de resiliencia de 0.70 vulnerable a todo tipo de fallas.

El MAGMO tiene mejor desempeño que el SPEA, los resultados indicaron que con el algoritmo SPEA tiene una confiabilidad de 0.42 y un costo estimado de S/. 2 530 803.86 el cual es superior al costo estimado con la implementación del MAGMO en S/. 597 058.25, además una confiabilidad de 0.391 con menos probabilidad de fallas.

### Referencias

- Coello Coello Carlos A. (2000). Treating Constraints as Objectives for Single-Objective Evolutionary Optimization. *Engineering Optimization*, 32(3):275–308.
- Prasad, T.D. and Park, N.S. (2004). Multi-Objective Genetic Algorithms for Design of Water Distribution Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management (ASCE)*, 130, 73-82. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2004\)130:1\(73\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2004)130:1(73))
- Pino V. Edwin, Valle C. Angely, Condori P. Franz, Mejía M. Jesús, Chávarri V. Eduardo & Alfaro R. Luis (2017). Diseño Óptimo de Redes de Distribución de Agua Usando Un Software Basado En Microalgoritmos Genéticos Multiobjetivos. *Revista Iberoamericana del Agua*, 6-23, <https://doi.org/10.1080/23863781.2017.1317087>.
- Yates, D. F., Templeman, A. B., and Boffey, T. B. (1984). "The computational complexity of the problem of determining least capital cost designs for water supply networks". *Engg. Optimization*, 7(2), 142-155.
- Zitzler, E., and Thiele, L. (1999). "Multiobjective Evolutionary Algorithms A Comparative Case Study and the Strength Pareto Approach." *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 3, No. 4, 1999, pp. 257-271