

Estimado revisor,

Antes que nada, quisiéramos agradecerle sinceramente los comentarios y sugerencias realizados que sin duda ayudarán a mejorar la calidad del artículo. Ellos nos han permitido descubrir deficiencias y mejorar la claridad expositiva del artículo. Esperamos que a lo largo de las discusiones que a continuación aportamos se confirme nuestra voluntad de mejora, y que finalmente hayan quedado plasmadas de manera suficientemente satisfactoria en la versión revisada.

Para mayor legibilidad, hemos incluido a continuación de cada uno de sus comentarios una respuesta a los mismo describiendo cómo se ha enfocado cada uno de ellos.

Sin otro particular, quedamos de nuevo a su disposición para responder a cuantos comentarios pudiese realizar.

Atentamente,

Los autores,

Título

¿Describe de forma conveniente el tema?

:

**Sí**

¿Por qué?

:

Hace referencia al trabajo realizado

Objetivos

¿La exposición de los objetivos refleja la importancia del tema y es consistente con el desarrollo del trabajo?

:

**Sí**

¿Por qué?:

***Sin embargo, el objetivo no aparece descrito con claridad al final de la introducción***

Respuesta:

Se ha añadido una descripción concisa de los objetivos al final de la introducción.

Metodología

¿Explica cómo se llevó a cabo el estudio o investigación?

:

***Sí***

¿Por qué?:

***La metodología está descrita de manera confusa , los apartados 2 y 3 pertenecen a metodología. Sin embargo, se tratan por separado. Por otro lado, en resultados aparece información que debería ir en metodología (p ej. pg. 14)***

Respuesta:

Recogiendo este comentario, los antiguos apartados previos 2 y 3 se han reagrupado en un nuevo epígrafe que recoge esencialmente los fundamentos y metodología de la investigación aportada. Este nuevo apartado se ha titulado *Formulación del Algoritmo Híbrido AG-PNL para diseño óptimo y del Indicador la Flexibilidad en redes a turnos*.

En relación con el apunte que nos sugiere que los primeros párrafos del apartado de Resultados podrían estar mejor ubicados dentro de la metodología, interpretamos que se hace referencia a los aspectos relativos al análisis de sensibilidad del Algoritmo Híbrido AG-PNL respecto a los parámetros característicos del Algoritmo Genético: probabilidad de cruzamiento ( $P_c$ ), probabilidad de mutación ( $P_m$ ) y tamaño de población ( $N$ ). Dado que en este análisis se ha realizado independientemente para cada una de las cuatro redes que corresponden a los Casos de Estudio, se ha preferido describir este contenido una vez los Casos de Estudio han sido previamente presentados en el apartado 3, posterior a la exposición de la metodología del algoritmo.

Por otro lado, el análisis de sensibilidad de los operadores evolutivos del Algoritmo Híbrido AG-PNL concluye que dicho algoritmo se muestra robusto frente a la elección de dichos parámetros, y que es el tiempo de cálculo la variable más afectada por dichos parámetros. Por ello, se ha considerado que este es un hecho relevante en el epígrafe de presentación de resultados relativos al algoritmo en sí. En cualquier caso, se ha mejorado la presentación de los resultados de esta parte para formularlos más claramente.

¿Presenta las aportaciones derivadas del estudio o investigación?

:

***Sí***

¿Por qué?:

***Aunque la redacción no permite al lector entender los aportes alcanzados en el trabajo.***

Respuesta:

Se ha revisado la redacción y contenidos del capítulo de *Resultado y Discusión* para que de manera concisa se resalten las aportaciones más significativas presentadas en este artículo, que son:

1) Formulación y validación de un nuevo Algoritmo Híbrido AG-PNL que realiza el diseño óptimo conjunto de las asignaciones de los turnos a los hidrantes y de los diámetros a las conducciones. Este nuevo algoritmo consigue resultados más económicos que los que los algoritmos tradicionales de dimensionado basados en la “Serie Económica”.

2) Formulación de un índice indicador que permite cuantificar la flexibilidad de las RCRP operando turnos frente a cambios de los turnos. Con este Indicador de Flexibilidad del sistema frente a Cambio de Turnos (IFCT) se ha podido constatar que los resultados de Algoritmo Híbrido AG-PN también genera redes más flexibles que los diseños a turnos con el método de la Serie Económica con el que se compara.

3) Propuesta de un criterio de ayuda la decisión, complementario de otros criterios, para establecer si un nuevo diseño conviene concebirlo para ser operado a la demanda o a turnos. En cualquier caso, este criterio puede ser aplicado independientemente del algoritmo de optimización utilizado en el diseño.

Las dos primeras contribuciones constituyen el núcleo central del trabajo y su principal objetivo, siendo la tercera un resultado colateral. Si bien se considera que es un resultado reseñable, puede ser desligado del resto e incluso desarrollarse con mayor profundidad en un segundo trabajo sin que el resto del artículo pierda consistencia, pero se ha querido incorporar para darle mayor perspectiva a la investigación. Esperamos que la nueva redacción haya delimitado mejor las aportaciones del trabajo y sus aspectos principales y secundarios del mismo.

Discusión

¿Explica los resultados y los compara con el estado del conocimiento sobre el tema?

:

No

¿Por qué?:

***Escasa o nula revisión y comparación de los resultados obtenidos con trabajos similares***

Respuesta:

Como se comenta en el apartado de introducción, para los sistemas operando a la demanda existe en la literatura un número significativo de trabajos que introducen nuevos algoritmos de optimización para el diseño de RCRP. También es muy abundante la bibliografía disponible para los casos de diseño óptimo de redes de distribución de agua potable. Sin embargo, en el caso de sistemas de riego a turnos, éstos son mucho más escasos. Esta escasez de trabajos es aún más notoria en los casos en los que, como en el presente trabajo, el objetivo esencial sea la investigación de

nuevos algoritmos de optimización de redes a turnos en que, además de los diámetros de las conducciones, la propia definición de los turnos óptimos sea un objetivo de la propia optimización. Sólo se ha encontrado un precedente (Farmani, Abadia y Savic, 2007), que se ha citado oportunamente, pero como el revisor nos apunta, posiblemente no ha sido suficientemente escrutado, en buena medida por las limitaciones de espacio. En la versión reenviada se ha intentado subsanar esta laguna colocando en perspectiva el Algoritmo Genético (en lo sucesivo, AG) desarrollado por Farmani, Abadia y Savic (2007) a efectos comparativos del Algoritmo de Híbrido AG-PNL. Si se conociera alguna otra referencia adicional que no hayamos podido encontrar agradeceríamos se nos proporcionara.

En dicho trabajo de Farmani, Abadia y Savic (2007) se utiliza exclusivamente un Algoritmo Genético para la asignación tanto de turnos como de diámetros de las conducciones, lo que aumenta la dimensión de las variables de decisión, y consecuentemente el tiempo de cálculo (aunque no se cita en ningún momento en el mismo). En este trabajo, los autores destacan algunas limitaciones del AG, por lo que se ven forzados a introducir criterios de cruce y mutación condicionados “ad hoc” para “guiar” al AG a encontrar resultados factibles y económicos en las redes ramificadas que aparecen en los RCRP. Farmani, Abadia y Savic (2007) presentan un único caso de estudio de red para la validación del procedimiento de diseño óptimo de turnos y diámetros que no resulta concluyente para saber si estas técnicas de guiado funcionarán eficazmente en otras redes. Sólo comparan los resultados obtenidos para esa única red, con los obtenidos para la misma diseñada alternativamente, con turnos definidos heurísticamente, mediante un método de tipo Programación Lineal. El detalle de dicho método PL no se documenta, pero parece poco refinado dado que establece tanto diseño de tubería independientes como turnos existen y toma para cada tubería el mayor diámetro encontrado entre todos estos diseños. Indicar también que los resultados de este único caso de Farmani, Abadia y Savic (2007) contemplan la instalación de tuberías de diferentes Presiones Nominales (600, 1000, 1.600 kPa). Por ello, no pueden utilizarse para comparación con los resultados del Algoritmo Híbrido AG-PNL en su formulación actual dado que este último trabaja solo con una única presión nominal en toda la red. Cabe destacar que Farmani, Abadia y Savic (2007) señalan que los turnos encontrados por la optimización no responden a criterios de equivalencia de caudales en cada ramal para todos los turnos, los cuales se utilizan habitualmente en la formulación de turnos heurísticos. Son ejemplo de esto último los trabajos realizados por Alduán y Monserrat (2009); García et al. (2011); Monserrat et al. (2012); o Espinosa et al. (2016). Al final de este texto se pueden encontrar las referencias completas a dichos trabajos.

Dado que la determinación de diámetros óptimos, para una asignación de turnos dada, en el caso de redes ramificadas tiene una solución analítica, no requiere de procesos evolutivos que aumentan enormemente la dimensionalidad del problema (obligando a que finalmente sean guiados), nuestro trabajo muestra que puede evitar la complejidad del AG limitándolo solo a búsqueda de turnos, mientras que el dimensionado de la red se desarrolla con un proceso analítico, lo que justifica el empleo de métodos Híbridos eficaces como el que se presenta.

Para compensar la carencia, o carestía, de resultados conocidos con objetivos similares, es decir, de algoritmos matemáticos para diseño óptimo simultáneo de turnos y conducciones, con los que poder comparar, se ha desplegado un esfuerzo especial en:

- comprobar los resultados del algoritmo híbrido, no en un único caso que, por su singularidad, pudiera no ser representativo, sino en una batería de redes

diversas de los que en el artículo se presentan sólo 4, por limitaciones de espacio.

- comparar sus resultados con técnicas de optimización consolidadas y con fundamentos accesibles, como las que contiene el paquete GESTAR 2016, que es específico para el dimensionado óptimo de RCRP, tanto a turnos como a la demanda. Los algoritmos de optimización implementados en dicho paquete están documentados en González y Aliod (2003) para el diseño a la demanda y en García et al. (2011) para el diseño a turnos. Otras versiones de GESTAR fueron usadas en los trabajos de Alduán y Monserrat (2009) y Monserrat et al. (2012) para las comparaciones de costes entre diseños la demanda y a turnos.

El énfasis dado a la comparación en varios casos de tipos de algoritmos distintos dentro de la optimización a turnos ha permitido descubrir que, en la reducción de costes de los diseños a turnos, la optimización de los turnos es más relevante que el tipo de método de optimización empleado para el dimensionado los diámetros de las conducciones.

No se han encontrado antecedentes para determinar el grado de flexibilidad de una red trabajando a turnos ante cambios de turnos, por lo que no ha sido posible efectuar comparaciones en este extremo. Si se conociera alguna otra referencia adicional que no hayamos podido encontrar agradeceríamos se nos proporcionara.

Finalmente, subrayar que se ha formulado, como resultado colateral, una posible aplicación adicional del indicador de flexibilidad al correlacionar su variación relativa con la variación relativa coste de la RCRP, como criterio orientativo sobre la conveniencia de selección de un diseño a turnos o la demanda. Pero la columna vertebral del artículo, como se ha señalado, no es entrar en el estudio detallado del comportamiento de redes operando a turnos frente a la operación a la demanda. Sin embargo, de manera inversa, este aspecto sí que constituye la parte primordial de las contribuciones realizadas por Alduán y Monserrat (2009); Monserrat et al. (2012); o Espinosa et al. (2016). Estos autores inciden en el análisis detallado de las variaciones en los costes y funcionalidad de las alternativas turnos-demanda, sin entrar en las características de los algoritmos de diseño contenidos en los paquetes comerciales utilizados. Tampoco ha sido posible comparar los costes de los diseños a turnos que ofrecen dichas publicaciones ya que se documentan sólo los datos generales de las redes pero no los datos que permitan su reproducción. Además, tanto en Alduán y Monserrat (2009) como en Monserrat et al. (2012) la herramienta de diseño utilizada es el mismo paquete GESTAR que se utiliza en nuestro trabajo a efectos comparativos del Algoritmo AG-PNL, solo que en versiones más antiguas. No obstante, en la discusión de resultados de esta parte se han introducido en la nueva versión revisada referencias a los contenidos de estas publicaciones, cuyos criterios y conclusiones pueden ser ahora quizá complementados con el criterio aquí presentado.

## Conclusiones

¿Destaca los resultados a los que se llegó en el estudio o investigación?

:

Sí

Decisión final

¿Cómo acepta el manuscrito?

:

Artículo

Otros comentarios.

Agregue sus comentarios en este recuadro.

:

***El trabajo debe apegarse de forma clara al formato mínimo de artículo científico: introducción, metodología, resultados, discusión y conclusiones. Se sugiere reescribir de forma concisa y clara, evitando párrafos demasiado largos la sección de introducción y metodología. Revisar párrafos redundantes en varias secciones (p.e. pag 4 y pag.11, definición GESTAR). Mejorar descripción de cuadros y figuras en el texto (p.e. pag.14). La discusión es escasa, no se contrasta con trabajos similares. Las conclusiones no están claramente redactadas, deben centrarse sólo en el aporte del trabajo. Revisar errores tipográficos a lo largo de todo el texto.***

Respuesta:

Referencias empleadas en la respuesta

Alduán, A., y Monserrat, J. (2009). Estudio comparativo entre la organización a la demanda o por turnos en redes de riego a presión. *Ingeniería del gua*, 16(3), 235-244. Recuperado de: <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2951/2954>

Espinosa, E., Flores, M., Hernández, R.A., y Carrillo, F. (2016). Análisis técnico y económico del diseño de un sistema de riego a hidrante parcelario utilizando el método por Turnos y la técnica de Clement. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 431-440. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n4/2395-8030-tl-34-04-00431.pdf>

Farmani, R., Abadia, R., y Savic, D. (2007). Optimum Design and Management of Pressurized Branched Irrigation Networks. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(6), 528–537, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:6(528)

García, S., Ruiz, R., Aliod, R., Paño, J., Seral, P., y Faci, E. (2011). Nueva herramienta implementadas en GESTAR 2010 para el Dimensionado de Tuberías Principales en Redes de Distribucion en Parcela y Redes de Distribución General a Turnos. J XXIX Congreso Nacional de Riegos. Córdoba, España. Recuperado de: <http://www.aeryd.es/escaparate/gmms/aeryd/buscadortrabajos?accion=ver&id=7355>

González, C., y Aliod, R. (2003). *Mejoras en el método de la serie económica para el dimensionado de redes ramificadas*. Al XXI Congreso Nacional de Riegos, Mérida, España. Recuperado de:

<http://www.aeryd.es/escaparate/gmms/aeryd/buscadortrabajos?accion=ver&id=6715>

Montserrat, Joaquim, Andrés Alduán, Luis Cots, and Javier Barragán. 2012. "¿Turnos o Demanda? En El Proyecto de Redes de Distribución de Riego a Presión." In XV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. San José (Costa Rica).

<http://repositori.udl.cat/handle/10459.1/45935>.