

Una de las continuas preocupaciones de hoy en día es la optimización del uso de la energía debido a problemas ambientales y el incremento de costos en servicios. En sistemas de agua, un alto porcentaje de los costos por consumo de energía corresponden a los sistemas de bombeo, por lo que, el desarrollo de herramientas que permitan su optimización resulta relevante. La optimización empieza por la correcta caracterización de la red de distribución a través de su curva característica. Existen dos tipos de curvas características, la curva resistente (CR) y la curva de consigna (CC). La CR se refiere a la altura de elevación necesaria en el nudo de cabecera para suministrar una determinada demanda una vez que se ha vencido el desnivel geométrico, pérdidas por fricción y las pérdidas generadas por el consumidor. En dicho contexto, la CR está sujeta a la variación de la resistencia creada por el usuario y por tanto su estimación resulta muy difícil. Comúnmente los sistemas de bombeo se optimizan en función de los puntos de operación obtenidos por la intersección entre las curvas resistentes y su curva motriz. Sin embargo, dado que no se determinan todos los puntos de las curvas resistentes, no es posible cuantificar el exceso de energía que supone la operación de las bombas respecto de la mínima energía realmente necesaria. Este último aspecto puede ser determinante, a la hora de elegir un sistema de bombeo u otro. La problemática mencionada se puede enfocar de forma distinta a través de la CC, de la cual se pueden calcular todos sus puntos con relativa facilidad. La CC se refiere a la altura de presión requerida en el nudo de suministro (estación de bombeo) para fijar la presión mínima requerida en el nudo crítico de la red (nudo con presión más baja), a la vez que se satisface la demanda. De este modo, el objetivo general de este trabajo consiste en la optimización energética y de costos de los sistemas de bombeo mediante el uso de la CC.

El cálculo de la CC requiere asignar un reparto de caudales entre los nudos de suministro. Cuando dicho reparto cambia, cambian también las curvas de consigna y, por tanto, las necesidades de energía en cada estación. De esta forma, se estudia la manera de obtener el reparto óptimo de caudales que minimice las necesidades de energía para cada una de las demandas de la red. Se aplican dos métodos, uno discreto y otro continuo. En el método discreto se asume un conjunto finito de repartos previa la obtención del reparto óptimo. En el caso del método continuo el caudal de reparto es una variable continua y el reparto óptimo viene dado por el uso de algoritmos de optimización, en este caso Hooke and Jeeves y Nelder and Mead.

La siguiente fase del trabajo considera la influencia de las tarifas eléctricas y otros costes relevantes como el de producción del agua. Para ello, se parte del método continuo desarrollado para la optimización energética y se evalúan además los costes de bombeo y producción en la función objetivo (FO). Así, se alcanza el reparto óptimo con base en el coste de la energía empleada por cada estación de bombeo a la vez que se obtienen las curvas de consigna más económicas.

La parte final del trabajo aborda la inclusión de los tanques de almacenamiento en el proceso de optimización. Esto implica modificar la metodología de cálculo de la CC. Para ello, además de los costes de bombeo y producción se consideran dos costes de penalización, uno por incumplimiento de presiones y otro por incumplimiento de volúmenes de reserva. La solución óptima se obtiene mediante el uso de algoritmos evolutivos, Differential Evolution y el Hybrid Differential Evolution. En los casos de optimización de redes sin tanques, el proceso de cálculo de la CC garantiza la presión mínima en el nudo crítico y no es necesario penalizar el incumplimiento de presiones. No obstante, cuando se incluyen tanques, la presión en el nudo crítico varía en función de los niveles de los tanques y de si estos se están llenando o vaciando. Por ello, el objetivo es mantener una presión igual o ligeramente mayor a la mínima requerida. Respecto del costo de penalización por volúmenes, éste se calcula al final de la simulación siempre que el volumen almacenado sea menor al volumen inicial.

Para la demostración de las metodologías desarrolladas se estudian cinco redes de distribución: TF, Catinen, COPLACA, Anytown y Richmond. Cada una se analiza bajo condiciones de trabajo distintas. Algunas de las particularidades estudiadas son: consumos dependientes y no dependientes de la presión, número variable de estaciones de bombeo, limitaciones de caudal suministrado, número variable de tanques, estaciones de rebombeo, nivel de succión variable, etc.

Es importante recalcar que, una vez obtenidas las curvas de consigna más económicas, el siguiente paso conlleva al dimensionamiento y selección del sistema de bombeo que más se adecúe a las curvas calculadas. Sin embargo, ese paso está fuera del alcance de esta investigación. Los resultados obtenidos evidencian que una adecuada selección del sistema de bombeo con base en las curvas de consigna puede permitir alcanzar un ahorro máximo de entre el 7 % y 12 % anual. Además, con la información obtenida es posible abordar problemas como el óptimo dimensionamiento y operación de los sistemas de bombeo.