

## EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA

**LOPEZ, GRACIELA R.<sup>1</sup>; GOMEZ GIRINI, ROBERTO<sup>1</sup> Y FARINA, MATIAS G.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Regional de Estudios Sobre Energía  
Facultad Regional Mendoza Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez 273 Ciudad 5500 Mendoza  
e-mail:energía.irese@frm.utn.edu.ar

**Resumen.** *El agua dulce y la energía son fundamentales para el desarrollo humano y de las naciones, por lo que el desafío actual es satisfacer estas necesidades y garantizar la universalización en el acceso tanto a los servicios de energía como a los de agua potable. En Mendoza el recurso hídrico es aprovechado para el desarrollo económico, productivo y social a través de un intenso trabajo del hombre y regulado por distintos organismos provinciales, sin estar ausente el aumento de la población humana y la mejora de la calidad de vida, incrementando los requerimientos de agua, recurriéndose a la sobreexplotación de los acuíferos y aguas superficiales. Se une a ello el grave problema de la contaminación, haciendo disminuir notablemente su disponibilidad. Por otro lado el país y la provincia atraviesan una crisis energética estructural que requiere de acciones que mejoren la eficiencia, con diagnósticos; mantenimiento de instalaciones; aplicación de nuevas tecnologías y gestión que refuerce las políticas energéticas. Por tanto, se estudiará el funcionamiento hidráulico y eléctrico de una red de distribución de agua para consumo humano y la relación existente entre ambos, en un caso piloto del Departamento de Maipú. Mediante modelos matemáticos se representará la red de agua y con simulaciones hidráulicas estudiar el sistema de extracción de agua subterránea que la surte; evaluar los caudales inyectados; perdidos y consumidos, sin incluir la etapa de potabilización (dosificación de cloración), establecer la energía involucrada en cada etapa y con el balance energético determinar los potenciales ahorro de energía y un mejor uso del agua potabilizada. Proponiendo adecuada gestión de ambos recursos, se contribuirá a la potencialidad económica; la sostenibilidad del medio ambiente y al bienestar social.*

**Palabras clave:** Eficiencia - Energía - Agua - Gestión – Ambiente

### INTRODUCCIÓN

La energía es un insumo crítico para la entrega de servicios de agua potable y tiene alta incidencia en los costos de prestación. Se estima que los gastos de energía eléctrica varían entre el 5 y 30 % de los costos totales de operación en estos servicios públicos en todo el mundo, y pueden alcanzar un 40% en algunos casos (Liu y otros, 2012). La amplia variabilidad se debe a diferencias en condiciones particulares de la prestación. Se estima que en América Latina y el Caribe las plantas de abastecimiento de agua potable podrían reducir sus costos de energía entre un 10% y un 40%. Por consiguiente, cualquier mejora en la eficiencia energética, ya sea por el ahorro de agua o de energía, se traduce directamente en

una disminución de los costos y un incremento de la eficiencia económica.

Una metodología descrita en la literatura del sector de transporte para analizar la eficiencia energética se basa en el llamado enfoque “evitar”, “cambiar” y “mejorar” (introducido por Dalkmann y Brannigan, 2007), que adaptado al sector de agua potable puede interpretarse como: i) evitar por parte de los usuarios el uso innecesario del recurso (control del consumo); ii) cambiar los hábitos y formas de consumo (campañas de difusión) y iii) mejorar la eficiencia técnica de las operaciones, minimizando la intensidad energética por unidad de producto. De allí, la importancia de las auditorías energéticas y las mejoras en los equipos y en la infraestructura (plantas, medidores, bombas, motores, válvulas y cañerías) que permiten reducir pérdidas de agua y energía.

Los sectores de agua y energía están intrínsecamente ligados, tanto desde el lado de la oferta (generación y distribución eléctrica e instalaciones de agua potable) como desde el lado de la demanda (usuarios finales residenciales, comerciales, industriales, agricultura y minería). Dicha interacción, se enmarca dentro del nexo agua-energía, siendo creciente el interés en evaluar de forma conjunta e integral ambos sectores (Hardy, Garrido y Juana, 2012). El concepto de “eficiencia de la energía utilizada en el suministro de agua” (“*watergy efficiency*”) significa proporcionar al consumidor a costos razonables los servicios deseados, al mismo tiempo que se utiliza la menor cantidad posible de agua y energía (James, Campbell y Godlove, 2003).

De forma análoga a este concepto de “*watergy efficiency*” puede asociarse un nivel óptimo de consumo de agua y consecuentemente de energía, tendiente a la conservación, tanto de los recursos hídricos como energéticos.

Para el estudio se tomará como caso testigo la distribución de agua potable de un sector ubicado en el Distrito Fray Luis Beltrán del Departamento de Maipú, Fig. 4, actuando como operador del servicio la Municipalidad del mismo Departamento. Mediante un relevamiento de todas las instalaciones y con la obtención de parámetros hidráulicos y eléctricos de funcionamiento realizar un diagnóstico para proponer mejoras en la eficiencia del sistema. Planteando el empleo de una herramienta de cálculo que ayude en la propuesta de directrices y de toma de decisiones más convenientes para el futuro. Se estudiara el sistema de extracción de agua subterránea que aporta agua al sistema; la etapa de almacenamiento y la etapa de rebombeo a la red. Se evaluarán los caudales inyectados; perdidos y consumidos para establecer la energía involucrada en cada etapa y establecer el balance energético. Para ello se recurrirá al uso del programa EPANET 2.0 "Análisis Hidráulico y de Calidad en Redes de Distribución de Agua" [1]

## **2. MATERIALES Y METODOLOGÍA**

### **2.1. Materiales**

Se emplean los siguientes instrumentos de medición

- Caudalímetro líquidos limpios. Fig. 1



Fig. 1 Marca SIEMENS - SITRANS F US clamp-on - Modelo FUP1010

- Analizador de Energía Eléctrica. Fig. 2



Fig. 2 Marca: Circutor - Modelo: C 80

- Equipo para medición de niveles estáticos y dinámicos de los acuíferos. Fig.3



Fig. 3 Medidor de nivel de agua (Sonda eléctrica de profundidad)  
Marca: Solinst - Modelo 102

## **2.2. Metodología**

Para los estudios se están siguiendo los siguientes pasos:

- 1- Relevamiento del sistema de distribución de agua, comprendido por el sistema de extracción de agua subterránea de abastecimiento, almacenamiento, red hidráulica y puntos de suministro Fig. 4
- 2- Relevamiento de las instalaciones de suministro; datos sobre diseño de los equipos incluidos datos de placa; datos históricos de producción y consumo. Datos sobre operaciones y datos sobre mantenimiento.
- 3- Medición de parámetros hidráulicos y eléctricos de funcionamiento del sistema electromecánico de extracción de agua subterránea.
- 4- Medición de parámetros hidráulicos y eléctricos de la etapa de bombeo.
- 5- Las variables hidráulicas se miden con caudalímetro como el caudal volumétrico de agua bombeada ( $m^3/s$ ) y la velocidad instantánea de salida de agua (m/s), Fig. 1. Las variables eléctricas con analizador eléctrico como la tensión eléctrica (Volt); intensidad de corriente eléctrica (Amper); potencia eléctrica activa (watt); potencia reactiva (watt-hora); factor de potencia “ $\cos \phi$ ” y frecuencia de línea eléctrica (Hz) Fig. 2. Además, se miden las alturas del nivel estático y dinámico del acuífero (m) Fig. 3.
- 6- Con la aplicación del programa de simulación y cálculo, se utilizará la información obtenida en las mediciones, determinando el rendimiento del sistema de bombeo y el balance energético de la red en estudio. Para distintos estados de funcionamiento, se evaluarán los caudales inyectados, perdidos y consumidos, obteniendo las energías asociadas. Con la red como referencia se tendrá cada término energético. La energía entrante al sistema, como potencial desde el depósito de cabecera y la energía saliente del sistema como potencial y de presión útil en los nudos de consumo e inútil en las fugas, y energía empleada por fricción en las conducciones. Mediante análisis de los resultados se establecerán los potenciales ahorro de suministro de agua a la red y ahorro de energía eléctrica empleada en el servicio de suministro de agua potable.
- 7- Toda la información resultante de los estudios se someterá a la comparación de valores dados en normas y directivas de orden provincial, nacional e internacional para conclusiones y establecimiento de directivas para una gestión eficaz de la red de agua.
- 8- Para el estudio del sistema de extracción de agua subterránea se seguirá la metodología de amplios trabajos anteriores realizados por el IRESE [2], en cuanto al estudio hidráulico de la red de agua y para el balance energético se recurrirá a estudios de amplia difusión y aplicación de orden internacional [3], [4].



Fig. 4. Región determinada para realización del proyecto, B° Fray Luis Beltrán Norte. Maipú

### 2.2.1. Rendimiento del sistema de bombeo

El rendimiento ( $\eta$ ) de los sistemas electromecánico de bombeo, se determina, mediante la siguiente relación analítica [2]:

$$\eta = \frac{\delta \cdot Q \cdot H}{75 \cdot 1,3596 \cdot N} \quad (1)$$

Donde:

- $\delta$ : Peso específico del agua (1000 Kg/m<sup>3</sup>)
- Q: Caudal volumétrico del agua bombeado (m<sup>3</sup>/s)
- H: Altura total de bombeo (m)
- 75: Constante de relación (11CV = 75 kgm/s)
- 1,3596: Constante de relación (1KW = 1.3596 CV)
- N: Potencia activa eléctrica del sistema de bombeo (kW)
- $H = h_{\text{nivel dinámico}} + h_{\text{cañería}} + h_{\text{rozamiento}} + h_{\text{velocidad}} + h_{\text{accesorios}}$

### 2.2.2. Eficiencia de un sistema de distribución de agua potable - Indicadores

En el contexto de la distribución de agua potable la eficiencia total comprende 3 escenarios:

- La ingeniería de producción y distribución de agua potable.
- La comercialización de los servicios.
- Desarrollo institucional del organismo operador del servicio de agua potable.

Dado el objetivo del proyecto, estudiamos el primer punto. Por tanto, en la actividad de producción y distribución de agua potable debemos tener en cuenta [5]:

- Eficiencia física (EF)

Se refiere a la conservación del agua en el sistema de abastecimiento, determinada mediante:

$$\eta = (\text{Vol. consumido} / \text{Vol. suministrado}) \cdot 100 \quad (2)$$

La EF no indica de manera exacta el nivel de deterioro de las redes, tomas domiciliarias y otros elementos del sistema.

Para ello la Internacional Water Association (IWA) recomienda la utilización del Indicador de Fugas Estructural (IFE) mediante:

$$\text{IFE} = \text{VIF}/\text{UMF} \quad (3)$$

Donde: VIF: indicador del volumen de fugas (m<sup>3</sup>/toma/día)

UMF: umbral mínimo de fugas (m<sup>3</sup>/toma/día)

Si el valor del IFE es uno, se infiere un estado físico óptimo deseable del sistema y si se incrementa indicaría un mayor deterioro de la red. El objetivo del diagnóstico de la EF, es precisar los valores de la eficiencia  $\eta$  y del IFE, para proporcionar las bases de un proyecto de incremento de la EF, realizado mediante un balance de agua.

- Eficiencia hidráulica (EH)

La EH Se define como la relación entre la capacidad de captación, conducción y distribución del agua y la capacidad real con la que funciona el sistema. Como no hay un indicador específico. La forma práctica de valorarla es a través de parámetros sobre la disponibilidad espacial y temporal del agua a los usuarios, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

1. Consumo unitario de los usuarios (litro / hab. día)

El consumo unitario es un parámetro que indica la cantidad de agua que utiliza un habitante común en un día típico promedio, en una población o zona. El consumo unitario no doméstico, es la relación de la suma de consumos comerciales, industriales y especiales, por cada habitante de la población.

2. Dotación (litro / hab. día)

Es la cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando todos los consumos y las pérdidas en la red, en un día de consumo medio anual.

3. Continuidad del servicio (horas promedio)

Se determina mediante un promedio ponderado de las horas que se proporciona, en las diversas zonas de servicio.

4. Déficit entre el caudal disponible en la red y el caudal requerido por los usuarios

Es la diferencia entre el caudal de agua disponible en la red y el requerido por los usuarios, dependiendo por diversas razones, como la ubicación de las captaciones, capacidad hidráulica de la red, topografía, crecimiento urbano, etc.

Cuando la disponibilidad de agua potable ofertada es diferente a la requerida por los usuarios, trae como consecuencia ineficiencia hidráulica, que se traduce en escasez, disminución de presiones y discontinuidad en el servicio.

5. Presión media del agua en la red de distribución (kg/cm<sup>2</sup>)

Las presiones deben ser tales que no excedan las máximas de trabajo de acuerdo al tipo y clase de cañerías utilizada, tanto para la red de distribución como para las conexiones domiciliarias.

La presión mínima dinámica no debe ser inferior a 12 Kg/cm<sup>2</sup> medida sobre nivel de vereda en los puntos más desfavorables de la red, los más alejados del tanque o los más altos. Se aceptan que en puntos aislados la presión dinámica mínima sea 8 kg/cm<sup>2</sup> la que debe ser debidamente justificada.

La presión máxima estática de servicio será 50 Kg/cm<sup>2</sup>

- Eficiencia energética (EE)

La EE se determina mediante un Diagnóstico de Eficiencia Energética (DEE) con la aplicación de un conjunto de técnicas para determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía en un sistema y especificar cuanta energía no es aprovechada. Correspondiendo analizar todas las partes que comprenden el sistema de distribución de agua. El DEE permite identificar y cuantificar las medidas de bajo costo o con inversión rentable para el ahorro de energía.

- Eficiencia integral (EI)

La EI comprende un Proyecto de Eficiencia Integral (PEI) enfocando el manejo combinado de las eficiencias física, hidráulica y energética, definidos anteriormente. Aplicadas adecuadamente potencializan los ahorros de agua, energía y el funcionamiento hidráulico de la red.

- Calidad de agua (no se trata en el presente estudio)
- Indicadores de eficiencia y eficacia

Los indicadores son medidas de determinados aspectos del abastecimiento y del comportamiento del sistema.

La eficiencia es la medida de hasta que punto los recursos del abastecimiento se utilizan de manera óptima para dar el servicio y la eficacia es la medida en que se cumplen los objetivos, siendo más temporal, requiriendo programas de mejoras en el tiempo con los Proyectos de Eficiencia Integral (PEI). [6]. En los abastecimientos de agua potable, la evaluación y uso de indicadores de eficiencia implica las ventajas siguientes:

Permiten tener una respuesta más rápida y de mayor calidad de la operación del sistema de abastecimiento; al mismo tiempo, los indicadores permiten un seguimiento más fácil de los resultados del funcionamiento. Fortalecen el enfoque pro-activo de la gestión y facilitan las auditorías.

Para la eficiencia del sistema en estudio se aplican los siguientes indicadores:

Indicador energético (IE):

$$IE = \frac{\text{Energía total consumida (kW-h/año)}}{\text{Volumen total de agua producida (m3 /año)}} \quad (4)$$

Determina el costo específico por unidad de energía consumida.

Indicador de costo unitario de energía (CUE):

$$CUE = \frac{\text{Importe de facturación eléctrica (\$/año)}}{\text{Energía total consumida (kW- h/año)}} \quad (5)$$

Representa el costo específico por unidad de energía consumida, facilitando el estudio de la facturación eléctrica y su optimización.

Indicador de eficiencia física (IEF):

$$\text{Volumen de agua facturada (m3 /tiempo)}$$

$$\text{IEF (\%)} = \frac{\text{Volumen de agua suministrada (m}^3 \text{ /tiempo)}}{\text{Volumen de agua suministrada (m}^3 \text{ /tiempo)}} \cdot 100 \quad (6)$$

Valores inferiores al 80% reflejan oportunidades de ahorro de agua importantes para el organismo operador y en la conservación de las fuentes de abastecimiento.

Indicador dotación promedio por habitante (Dp):

$$\text{Dp} = \frac{\text{Volumen suministrado (m}^3 \text{ /año)}}{\text{N}^\circ \text{ habitantes servidos. 365}} \cdot 1.000 \quad (7)$$

Indica el nivel comparativo respecto a los estándares de consumo por parte de los usuarios finales. Un valor medio de dotación es adecuado si es del orden de los 220 l/ hab.día.

Indicador continuidad en el servicio (ICS):

Indica el nivel de suministro y el potencial de mejora del servicio. Se determina como la división de las horas de servicio continuo, entre las horas naturales. Todos los sistemas de agua potable deberían cumplir con un promedio de 24 horas de servicio diariamente, los 365 días del año. Un indicador igual a uno, implica que el servicio es muy eficiente y en la medida en que el indicador disminuye, se trata de sistemas de agua potable con menor eficiencia.

### **3. RESULTADOS**

Al momento de ésta se han obtenido solo resultados parciales, y se ha inferido que el gasto en energía eléctrica está relacionado con el volumen de agua inyectada a la red. Resultando muy elevados dichos volúmenes, indicando un valor muy alto en pérdidas. El estudio pretende determinar los parámetros necesarios que tiendan a la aplicación de un PROGRAMA DE EFICIENCIA INTEGRAL que logren ahorros de energía, con acciones combinadas con la eficiencia física e hidráulica, potenciando los ahorros de energía con las acciones de reducción de fugas y sectorización de la red de distribución de resultar necesarios.



#### 4. CONCLUSIONES

Se prevé que la demanda de energía en los países de América Latina y El Caribe aumentará debido al incremento de la actividad económica en determinados sectores.

La eficiencia energética es un objetivo de creciente interés en todos los países y empresas como estrategia para mantener la competitividad. La clave para lograr el desarrollo, la prosperidad y el éxito económico es adoptar políticas que aborden las nuevas situaciones aplicando tecnologías innovadoras.

El costo de la energía en América Latina y el Caribe representa, en promedio, entre un 30% y un 40% del presupuesto de operaciones de los servicios públicos de suministro de agua y puede ascender a entre 25% y 30% del presupuesto en las plantas de tratamiento. Muchas empresas públicas de suministro de agua potable podrían reducir entre un 10% y 40% sus costos de energía, y algunas plantas de tratamiento podrían reducirlos en hasta un 75%. De acuerdo con ciertas estimaciones, en algunas plantas se podría lograr una reducción de entre 5% y 15% del consumo de electricidad mediante la instalación de variadores de velocidad y motores de alta eficiencia, y algunas plantas de tratamiento podrían reducir entre 10% y 20% esos costos si modifican sus equipos [7]. Al mismo tiempo, los servicios públicos de agua y saneamiento afrontarán una mayor demanda debido al incremento de la población; muchos servicios públicos afrontarán también dificultades institucionales y físicas, las pérdidas por fugas de agua y los bajos niveles de eficiencia energética.

El presente estudio permite caracterizar la interdependencia del agua y la energía y desde ese conocimiento, se puede optimizar el uso de ambos recursos.

Desde esta perspectiva se quiere contribuir a auditar los gastos de energía en cada etapa de la captación y distribución del agua, los usos del agua, pues no se tiene conocimiento de las pérdidas de agua y los consumos reales, por la ausencia de macro y micro medición. Disponer de información es una decisión política, que habiliten medios humanos y técnicos para su determinación. Facilitando la implementación de los mecanismos que propicien el uso eficiente del agua y, en consecuencia, de la energía.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] National Risk Management Research Laboratory. U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, OH 45268, USA: "EPANET 2 USER'S MANUAL - September 2000. Traducción al español: Fernando Martínez Alzamora Grupo REDHISP. Instituto Ingeniería del Agua y M.A. Universidad Politécnica de Valencia (España). EPANET es un programa orientado al análisis del comportamiento de los sistemas de distribución de agua y el seguimiento de la calidad del agua en los mismos.
- [2] Gómez Girini, Roberto, López, Graciela René, Alvarez, Luis, Polizzi, Miguel y Fernández, Jorge Félix. Simulador Moody para la determinación del rendimiento del conjunto motor-bomba en pozos de riego agrícola para una mejor aplicación del subsidio del estado provincial. EnIDI 2011 Mendoza, Argentina. ISBN 978-950 42 0134-2.
- [3] Cobacho, Ricardo, Cabrera, Enrique, Pardo Miguel Ángel. (2008) Necesidad de mejorar la eficiencia en la distribución y el uso de agua y energía. <http://www.ita.upv.es/idi/articulos-es.php> Valencia. España.

- [4] Salmenes Hernández, Luis M. (2013) Distribución eficiente en redes de agua potable. Jornadas del Agua UNAM, México.
- [5]. Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable. Edición 2012 – México.
- [6]. Metodología para un programa integral de ahorro de energía y agua, bajo el concepto Watergy – Alianza para el ahorro de energía - USAID.
- [7] Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Eficiencia energética en empresas de agua y saneamiento en países de América Latina y El Caribe. Nota Técnica Número 328 - Mayo 2007.