

## **AVANCES TÉCNICOS EN LAS INSTALACIONES ELECTROMECAÓNICAS**

**José María PÉREZ MARTÍNEZ\***

(\*) Departamento de Tecnología Hidráulica y Energética.  
Universidad Politécnica de Madrid.

### **RESUMEN**

En los últimos años, debido a la importancia que han adquirido las aguas subterráneas, sobre todo en abastecimientos urbanos, se han producido grandes avances técnicos, al incorporar la electrónica de potencia y la microelectrónica al conjunto de instalaciones que componen el proyecto.

Los objetivos de estos avances van encaminados hacia dos fines básicos: disminuir el coste del metro cúbico de agua elevado y disponer de instalaciones más seguras, mejor controladas, con menores averías, menos tiempos improductivos y menor impacto ambiental.

En la ponencia se analizan brevemente los avances técnicos más destacados, en la línea de cada uno de esos objetivos.

### **INTRODUCCIÓN**

Es conocido que un proyecto de abastecimiento urbano mediante aguas subterráneas, se compone de cuatro fases bien diferenciadas:

- \* estudio hidrogeológico,
- \* diseño y construcción de perforaciones,
- \* diseño y montaje de las instalaciones, y
- \* explotación, control y mantenimiento.

Todas ellas de igual importancia, ya que si una falla va en detrimento de las demás, haciendo que el conjunto del Proyecto pueda quedar defectuoso, o no fiable en su resultado final.

En los últimos años, debido a la importancia que han adquirido las aguas subterráneas, sobre todo en abastecimientos urbanos, se han producido grandes avances técnicos en cada una de las materias que se aplican en las instalaciones, es decir, hidráulica, electricidad, mecánica y control. Pero, quizás, el mayor avance se ha producido al incorporar la electrónica de potencia y microelectrónica en el conjunto de las instalaciones que componen el Proyecto.

Los objetivos de estos avances técnicos han ido encaminados, en definitiva, a aumentar el rendimiento global, a través de dos orientaciones básicas:

- \* reducir los costes energéticos de explotación, es decir, disminuir el coste del m<sup>3</sup> de agua elevado, y
- \* disponer de instalaciones más seguras y fiables, mejor controladas, con menor índice de averías, con menores tiempos improductivos, y cuidando el impacto medioambiental.

## **REDUCCIÓN DEL COSTE DE ELEVACIÓN**

Para conseguir el primer objetivo debemos tener en cuenta los factores influyentes en el coste del agua elevada, que en mi opinión son los dos siguientes.

### **Índice energético de las instalaciones**

Expresa la energía que se necesita utilizar para elevar un metro cúbico de agua, a un metro de altura manométrica. Varía entre 3,8 y 5,5 Wh/m<sup>3</sup>/m.c.a. para caudales superiores a 10 l/s, en instalaciones razonablemente bien diseñadas, y depende:

- a) De la elección del grupo electrobomba.- Se elegirá para el punto de funcionamiento de máximo rendimiento y, en aquellos pozos donde se prevean grandes variaciones de nivel dinámico, con la curva Q-H lo más vertical posible, es decir, que admitan grandes variaciones de H con pequeñas variaciones de Q, estando dentro de la franja de máximo rendimiento, a ser posible o con una pequeña variación de 1 ó 2 puntos, a lo sumo, con relación al máximo. También es importante que la potencia del motor eléctrico que acciona la bomba sea la adecuada a la absorbida por ésta, y se encuentre dentro del punto de máximo rendimiento. En las bombas que se instalan en los pozos, sus rendimientos máximos oscilan entre el 55 % y el 82 %, dependiendo del caudal a elevar y de la altura manométrica, por ello es muy conveniente consultar varios fabricantes, a la hora de tomar una decisión. Los motores eléctricos que accionan estas bombas, debido a su forma constructiva especial, tienen rendimientos máximos que oscilan entre el 77 % y el 92 %.

- b) De la pérdida de potencia en los conductores eléctricos.- Para ello se han de dimensionar los conductores de alimentación al motor eléctrico para una pérdida de potencia máxima entre el 2 y 2,5 % de la potencia a transportar, y teniendo presente, para el cálculo de la resistencia, el incremento de temperatura que se origina en los mismos al circular la corriente eléctrica. Es muy importante, cuando se emplean conductores unipolares y varios conductores por fase, que las impedancias de los mismos estén equilibradas, al objeto de evitar desequilibrios en las intensidades en cada una de las fases.
- c) De la pérdida de carga en la tubería de impulsión dentro del pozo.- También influyen las pérdidas en la tubería de impulsión fuera del pozo, sobre todo en aquellos abastecimientos que tienen gran longitud de tubería hasta el depósito regulador, pero esta pérdida es fácilmente medible colocando un manómetro a la salida del pozo. Sin embargo en la tubería del interior del pozo esto no es posible de forma fácil, por lo cual se han de dimensionar las tuberías para una velocidad entre 1,5 y 2 m/s, y una pérdida de carga entre 3 y 5 m por cada 100 m de longitud, en tuberías de acero, que son las más empleadas.
- d) Del rendimiento del transformador que alimente al grupo electrobomba.- En los casos en que el suministro de energía eléctrica se efectúe desde un transformador propio, que son los más generales, se debe dimensionar éste de forma que su punto de trabajo se encuentre aproximadamente entre un 75 % o un 85% de su potencia nominal, al objeto de hacerle funcionar al máximo de rendimiento, aproximadamente un 97 %.
- e) De la precisión del equipo de medida de la energía eléctrica.- Al ser el consumo eléctrico elemento básico que interviene en la relación, cuanto mayor sea la exactitud con la que se mide el consumo más fiable será la ratio. Hoy día, y cada vez más, se están empleando equipos de medida en clase 0,2, con lo cual se están reduciendo los errores de medida entre un 1 y un 2 %.

### **Precio medio del kWh**

Expresado en PTA/kWh, es el índice económico de nuestra instalación, en cuanto a costes energéticos se refiere; puede variar entre 4,85 y 11 PTA/kWh, dependiendo:

- a) De la tarifa eléctrica elegida.- Recuérdese que el abonado tiene la facultad de elegir la tarifa que más le convenga, y mejor se acomode a su instalación. Para ello téngase presente que, en el caso de que la medida se efectúe en alta tensión, para el mismo escalón de tensión de suministro, existen tres posibles tarifas a utilizar, variando entre ellas tanto el valor del término de potencia como el de energía. Por ello es conveniente hacer un estudio deta-

llado de las distintas tarifas posibles, antes de tomar la decisión definitiva.

- b) De la potencia contratada con la compañía distribuidora de energía, y de la forma de medirla.- Es imprescindible utilizar los máxímetros, y contratar distintas potencias durante las horas del día y durante los días del año, al objeto de conseguir reducir la potencia base de facturación.
- c) Del factor de potencia de la instalación.- Téngase presente que el recargo por reactiva Kr, que se aplica sobre la suma de la cuota del término de potencia y del término de energía, puede variar entre un 47 % de recargo y un -4 % de abono. Es bastante conocida la ventaja que aporta la colocación de condensadores en las instalaciones, de forma tal que su coste queda amortizado en un periodo de 6 a 12 meses. Un detalle a tener en cuenta, a este respecto, es colocar condensadores en los bornes del transformador, que compensen la energía reactiva que éste consume en vacío, en muchas ocasiones durante varias horas del día.
- d) Del complemento horario.- Es decir, de los consumos que se realicen durante las distintas horas del día, o durante ciertos días de la semana e incluso del año. Tengamos presente que los consumos de kWh en horas punta, se pueden pagar entre un 70 % y 300 % del precio base, mientras que los consumos en horas valle se bonifican con un -43 % ó -50 % del citado precio base. En el caso que se utilice el sistema estacional se pueden obtener 5.780 horas valle al año.
- e) Del impuesto sobre la electricidad.- Este es un nuevo impuesto aplicable desde primeros del año 1988, y supone un 4,86 % sobre el resultado de multiplicar por 1,05 la suma de la cuota del término de potencia, cuota del término de energía, complemento por reactiva y complemento horario. Es obvio que, cuanto menor sea la suma de las cuotas y complementos, menor será la cantidad pagada por impuestos.

Con las premisas expuestas se están consiguiendo costes medios de 3,12 PTA/m<sup>3</sup> a una altura manométrica de 100 m, considerando una ratio media de 4,1 Wh/m<sup>3</sup>/m para instalaciones tipo medio-bueno y precio medio del kWh de 7,60 PTA, para consumos realizados mayormente en horas valle.

Un avance técnico importante es la mentalización de la conveniencia de realizar auditorías energéticas.

## **MEJORA DE LAS INSTALACIONES**

En cuanto al segundo objetivo, disponer de instalaciones más seguras y fiables, mejor controladas, con menor índice de averías, etc., los avances técnicos más destacables han sido:

- a) La incorporación de las sondas Pt-100 en el estátor del motor eléctrico, con el fin de controlar de forma más exacta la temperatura del mismo; hasta ahora esto se hacía mediante imagen térmica por medio de los relés térmicos, pero, en el caso concreto de los motores de los grupos sumergibles, inducía a veces a grandes errores que, por falta de refrigeración, acababan con el quemado del motor y conllevaba grandes gastos, tanto en desmontaje y montaje, rebobinado del motor, etc., como en tiempos improductivos importantes.
- b) La aplicación de una camisa de aspiración, un tubo de diámetro interior adecuado, en el cual está introducido el grupo electrobomba, de forma tal que todo el caudal a extraer tiene que atravesar, forzosamente, la parte exterior del estator del motor eléctrico, y por consiguiente garantiza la refrigeración del mismo. La velocidad del agua por el anular entre el diámetro interior de la camisa y el exterior del motor, no debe ser superior a 1-1,5 m/s, para evitar otros fenómenos más perjudiciales. Esta aplicación ha venido como consecuencia del desconocimiento que se tiene, en un pozo con distintos tramos acuíferos, del caudal de agua que aporta cada uno de ellos en un funcionamiento normal, y, por tanto, de la velocidad del agua por la superficie del motor. El mismo caso ocurre cuando se introduce un grupo electrobomba de pequeño diámetro en un pozo de gran diámetro.
- c) La incorporación de los convertidores de tensión-frecuencia en el conjunto de la instalación, con el fin de poder regular la velocidad del motor eléctrico (a pesar de ser asíncrono), y por consiguiente la velocidad de la bomba que está acoplada directamente a este motor. Recuérdese que los fabricantes nos dan la curva Q-H de una bomba a la velocidad nominal, y que, cuando se varía la velocidad de accionamiento, se obtienen curvas paralelas a la nominal. Entre estas curvas, y en los puntos homólogos, se cumplen las leyes de semejanza de Newton, por las cuales los caudales son directamente proporcionales al número de revoluciones, las alturas al cuadrado y las potencias absorbidas al cubo. En estos puntos homólogos el rendimiento prácticamente se mantiene constante, siempre y cuando el número de revoluciones no se reduzca más de un 30 ó 40 %. Todo esto nos permite obtener distintos puntos de funcionamiento, con el mismo rendimiento y absorbiendo la potencia eléctrica que realmente se necesita. También, asociando el convertidor con la sonda piezorresistiva de nivel y el contador magnético de caudal, nos permite obtener instalaciones, bien a caudal constante, bien a nivel constante, e incluso, acoplando un PLC, conseguir que las instalaciones funcionen de forma automática con un determinado caudal, y si el nivel descendiese de un determinado valor, el control se realice por éste aunque el caudal fuese menor. Otras de las ventajas que ofrecen los convertidores son los arranques y paradas suaves, acomodables a distintas rampas de velocidad, evitando las grandes succiones y los posibles golpes de ariete que se pudiesen producir. Hoy día se obtienen rendimientos del 97 / 98 % en estos elementos; quizás la única desventaja sea la generación de armónicos, pero existen soluciones técnicas

para solventar el problema.

- d) El empleo de conductores eléctricos de alimentación al motor, de acuerdo con la NORMA UNE 21166, e incluso mejorada en cuanto al espesor de la cubierta y la incorporación de unos polvos hinchables con la humedad, que se colocan en el conductor y entre el aislamiento y la cubierta, con el fin de que, en caso de un roce de los cables con las paredes de la entubación, se impida la penetración del agua al estátor del motor.
- e) El empleo de tuberías de acero galvanizadas con bridas especiales capaces de soportar las altas presiones que se generan, puesto que hoy día se están realizando instalaciones a más de 500 m de profundidad. Por otro lado, estas bridas están diseñadas con muescas capaces de alojar en su interior los conductores eléctricos, para evitar roces, y las tuberías de control de nivel.
- f) La incorporación de elementos de control tan importantes como la sonda piezorresistiva, para la medida de nivel continuo, y el contador magnético, para la medida de caudal tanto instantáneo como acumulado, que nos permite, asociándolo a un *data-logger*, registrar los niveles y caudales con una cadencia determinada.
- g) Nuevo diseño de los cuadros eléctricos de maniobra, mando, control y protección, en los cuales se han incorporado, como elementos más significativos: sinópticos, indicadores de nivel, caudal y temperatura del estátor, contadores horarios y de maniobras, así como distintos elementos de señalización, de forma tal que, con un simple vistazo, se obtienen todos los datos de funcionamiento de la instalación. Un elemento básico de protección, en el caso de que no se disponga en la instalación del convertidor de tensión-frecuencia, es el relé de protección integral.

## CONCLUSIÓN

En definitiva, este conjunto de avances técnicos nos ha llevado a una tecnificación de las instalaciones que, aunque es cierto que conlleva mayor coste de implantación, no son menos ciertas las grandes ventajas que aporta, sobre todo su automatización y control, que contribuyen a una mejor y más racional explotación de los acuíferos para captación de aguas subterráneas.

## AGRADECIMIENTOS

Es de agradecer el gran esfuerzo aportado por algunos organismos de la Administración, entre los que destacaría al Canal de Isabel II, por su gran aportación a la tecnificación de las instalaciones.