

EVALUACIÓN DE EXTRACCIONES A PARTIR DEL CONSUMO ENERGÉTICO

Juan Carlos RUBIO CAMPOS*

(*) Jefe de la Oficina de Proyectos del ITGE. C/Neptuno, 1, 5º Izqda.
18002 GRANADA

RESUMEN

El Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) viene desarrollando y aplicando de forma sistemática desde 1985 el método denominado “encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo”, para estimar las extracciones de los sondeos en función de su consumo eléctrico.

El gran número de casos estudiados y la experiencia acumulada en estos años muestra este método como una herramienta de gran utilidad, no sólo para el evaluación de extracciones, sino también para el análisis de los rendimientos de las captaciones y la evaluación del coste energético del agua.

En esta ponencia se describe el procedimiento, se dan algunas recomendaciones prácticas para su utilización y se muestran experiencias de su aplicación en diferentes acuíferos de Andalucía: Vega de Granada, Huéscar-Puebla-Orce, Prebético de Jaén, sectores de las provincias de Granada y Málaga.

METODOLOGÍA

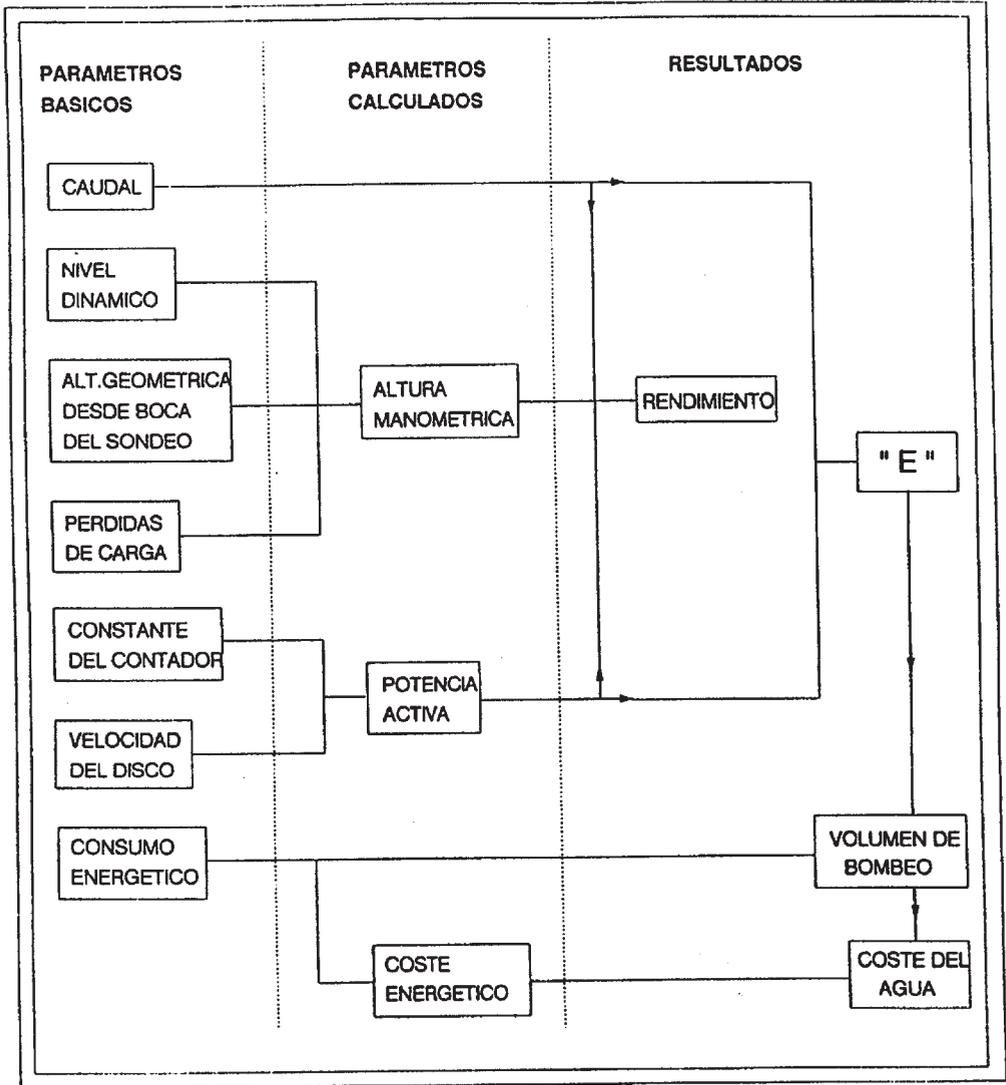
El esquema metodológico simplificado se incluye en la *figura 1*. Para el cálculo de las extracciones en función del consumo energético, es suficiente determinar con cierta precisión la relación “E” entre el volumen extraído y la energía eléctrica consumida, para las condiciones del nivel dinámico del período de cálculo. Para establecer la relación “E” se precisa determinar el caudal de extracción y la potencia activa de la instalación, y para esta última, la constante K del contador y la velocidad de giro del disco del mismo.

El volumen de agua bombeada en un período de tiempo dado es el resultado de multiplicar la relación E por el consumo eléctrico de dicho período.

El rendimiento total de la instalación de la captación se define, de forma teórica, como el

producto de los rendimientos de cada uno de los elementos que intervienen: motor, bomba, transformador y resto de elementos eléctricos. De forma práctica, el rendimiento total de la instalación se calcula en función de tres parámetros: caudal, altura manométrica y potencia activa de la instalación. A partir del rendimiento total, estimando los rendimientos del transformador y de los elementos eléctricos, se puede deducir el rendimiento del grupo motobomba.

El coste energético real del agua de una captación, es la relación entre el pago realizado a la compañía eléctrica suministradora (debido a la potencia contratada, al consumo en kWh y a los recargos/bonificaciones por discriminación horaria y por reactiva) en un determinado período de



tiempo y el volumen de agua extraído en ese mismo período, expresado en PTA/m³.

Figura 1. Esquema metodológico

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS BÁSICOS EN LA EVALUACIÓN DE EXTRACCIONES

Caudal de explotación

Dada la importancia de este parámetro, es necesario determinarlo en campo, y con la mayor precisión posible, mediante alguno de los métodos de aforo existentes: molinete, volumétricos en depósitos o arquetas intermedias de la conducción, caudalímetro de ultrasonidos, etc.

Potencia activa

La potencia activa (P_a) es la consumida por el conjunto de las instalaciones (electrobomba, transformador, cuadro de maniobra, cables de baja tensión, etc...) para realizar el trabajo de impulsión del agua. Para su medida se puede utilizar el contador de energía activa.

Los contadores registran de forma continua el consumo de energía; su visualización pone de manifiesto la existencia de los siguientes elementos (*figura 2*):

- Uno o varios displays, donde se marcan las lecturas de consumo eléctrico (valle, llano, punta).
- Una placa donde aparecen las características del contador.
- Un disco giratorio.

Para obtener el valor de la P_a es necesario medir la velocidad del disco del contador, que es directamente proporcional a la misma, y, por otra parte, conocer la constante K característica de cada contador. Ésta es calculada en fábrica durante el calibrado del aparato, y debe figurar en el contador. La expresión que da el valor de la potencia activa expresada en kW es:

$$P_a = \frac{3.600 \times n}{K \times t}$$

n : número de vueltas en el contador (revoluciones)

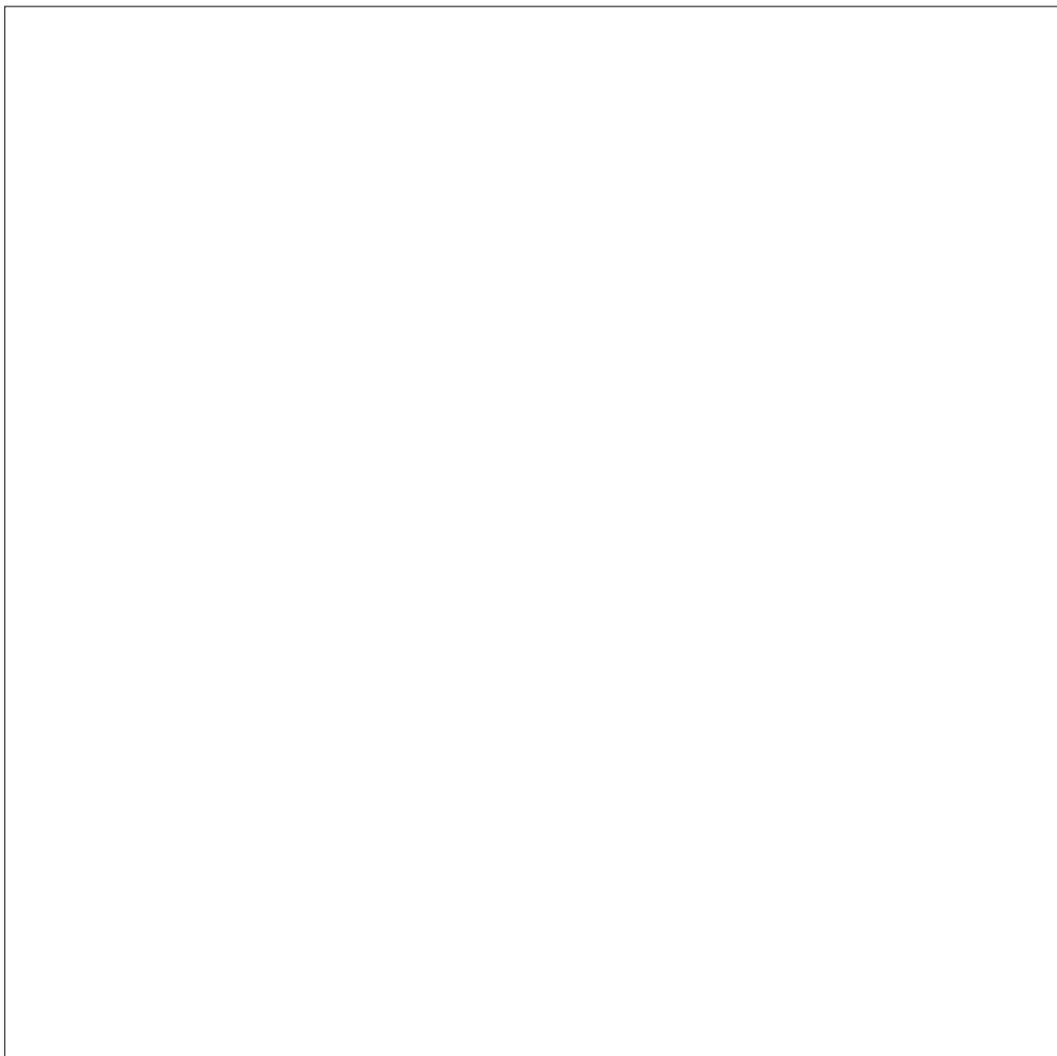
t : tiempo en que se producen las n vueltas (segundos)

K : constante característica del contador (revoluciones/kWh)

El disco giratorio del contador de energía eléctrica es visible desde el exterior y su velocidad (vueltas/segundo) debe medirse cuidadosamente, pues influye en gran medida en el cálculo del valor de la potencia activa.

La constante K , como ya se ha indicado, se expresa en rev/kWh; en algunos casos aparece en el contador como Wh por vuelta, siendo su transformación a las unidades señaladas fácil e inmediata.

El valor de la potencia activa calculada debe ser del orden de magnitud de la potencia de



la electrobomba existente expresada en kw y de la potencia contratada que figura en el recibo eléctrico. De no ser así, puede ser debido a la presencia de un factor modificado (Fm).

Figura 2. Ejemplos de contadores de energía activa (tomado de Juárez García, 1992).

Un caso frecuente en los contadores es la presencia de factores de corrección de las lecturas de consumo, que pueden ser de dos tipos distintos:

- a) Factor de fabricación (Ff). Viene grabado de fábrica en el interior del contador y no influye para el cálculo de la potencia activa.
- b) Factor modificado (Fm). El contador ha sido modificado por la compañía suministradora. Se puede deducir fácilmente de un recibo de electricidad (en el caso de que no venga indicado en el exterior del contador, normalmente en forma de pegatina, o específicamente en el propio recibo) dividiendo un consumo de energía entre la diferencia de lecturas existentes. En este

caso, para obtener la potencia activa, se debe multiplicar el valor resultante de la expresión anterior por el factor modificado:

$$P_a = \frac{3.600 \times n}{K \times t} \times Fm$$

En el caso de que en una instalación se encuentren los dos tipos de factores, es decir, el de fabricación (Ff) y el modificado (Fm), la potencia activa se calcula multiplicando por el cociente entre el ambos factores:

$$P_a = \frac{3.600 \times n}{K \times t} \times \frac{Fm}{Ff}$$

Cabe señalar que, además de la potencia activa, se consume también una potencia reactiva. Este consumo, medido en un contador independiente, depende del cosN de la instalación eléctrica, e incide en el coste energético como un recargo o bonificación al consumidor. Su aplicación por las compañías eléctricas se dirige a inducir al usuario a la mejora de sus instalaciones.

El método de cálculo de la potencia activa está contrastado con medidas realizadas con analizadores eléctricos de red; estos aparatos dan valores un poco menores que los obtenidos a través del contador, ya que se colocan a la salida del cuadro de maniobra de la electrobomba, y no miden el consumo que se produce entre el contador y el cuadro. Por tanto, el método de cálculo propuesto es de fácil aplicación, al tiempo que proporciona resultados precisos.

Consumo energético

El consumo energético de las instalaciones electromecánicas existentes en una captación se recoge en el recibo de las Compañías de Electricidad. En él se expresan los datos de dos lecturas consecutivas del contador de energía activa, sus fechas de medida y el consumo en el período situado entre ambas, al igual que para el contador de reactiva.

Si el contador es de tarifa múltiple (valle-llano-punta), se especifican para cada tipo sus lecturas y consumos.

En el recibo también se indica, si es que existe, el factor corrector por el que hay que multiplicar la diferencia de lecturas para obtener el consumo. A este respecto se pueden dar tres situaciones:

- El contador tiene inscrito factor de fabricación (Ff), que coincide con el que se indica en el recibo. En este caso, Ff es el factor corrector del recibo.
- En el recibo figura un factor corrector y en el contador no existe Ff. En este caso existe factor modificado (Fm), aunque no venga indicado en el contador, y es el factor corrector.
- El contador tiene Ff y no coincide con el factor corrector del recibo. En este caso además de Ff existe Fm, que es el que figura en el recibo como factor corrector.

VALOR DE “E” Y EVALUACIÓN DE EXTRACCIONES

El valor de la relación “E” entre el volumen extraído y la energía consumida, se determina según la fórmula:

$$E = \frac{Q}{Pa}$$

donde Q es el caudal en metros cúbicos por hora y P_a es la potencia activa en kilowatios.

El volumen total extraído de una captación se calcula multiplicando el consumo total de energía activa (punta, llana, valle) en el período estudiado por el valor de la relación “E”.

El tiempo total de bombeo en un lapso dado se obtiene de dividir el consumo de energía en el mismo entre la potencia activa que absorbe la instalación. Con este resultado se pueden calcular tiempos medios de funcionamiento, incluso de forma mensual cuando se disponga de los recibos.

RENDIMIENTO DE LAS INSTALACIONES

El rendimiento total de una instalación de captación (R_i) es el producto de los rendimientos de cada uno de los elementos que la componen. En él se incluye el rendimiento de la bomba (R_b), del motor (R_m), del transformador (R_t) y de los cables de baja tensión (R_c). La expresión que engloba estos elementos es:

$$R_i = R_b \times R_m \times R_t \times R_c$$

De forma práctica, sus valores suelen oscilar entre:

- . R_b entre el 65 y el 75 %, dependiendo de su estado de conservación y de su situación en la curva característica.
- . R_m del 85 al 90 %.
- . R_t del 95 y al 97 %.
- . R_c del 95 al 99%, dependiendo fundamentalmente de la longitud de los cables de conexión.

Es habitual hablar de un rendimiento del grupo motobomba, entre el 55 y el 68 %. En conjunto el rendimiento total es del orden del 50 al 65 %.

El cálculo de estos rendimientos por separado es complejo. En la práctica, el rendimiento total de la instalación (R_i) se puede calcular a partir de los parámetros de caudal, altura manométrica y potencia activa, mediante la siguiente fórmula:

$$R_i = \frac{Q \times H_m}{75 \times P_a}$$

donde:

Q: Caudal, expresado en l/s.

Hm: Altura manométrica, expresada en m. (profundidad del nivel dinámico, altura de impulsión sobre el suelo y pérdidas de carga).

Pa: Potencia activa de la instalación, expresada en CV (se obtiene dividiendo la potencia activa en kw por 0,736).

A partir del rendimiento total, estimando los rendimientos del transformador y de los elementos eléctricos se puede llegar a deducir el rendimiento del grupo motobomba.

Simplificando puede utilizarse la siguiente expresión:

$$R_b \times R_m = \frac{R_i}{R_t \times R_c} \times \frac{R_i}{0,93}$$

El rendimiento es de gran importancia pues indica si la instalación está funcionando correctamente. Un rendimiento inadecuado suele tener el origen en una mala aplicación de la electrobomba al caudal de extracción y a la altura manométrica, al no funcionar dentro de la zona de curva característica para la que se obtienen rendimientos óptimos o estar muy desgastada y tener fugas volumétricas internas muy superiores a las del origen. Los rendimientos del motor y de la bomba son los que más suelen afectar al rendimiento total.

COSTE ENERGÉTICO DEL AGUA

Para evaluar el coste energético del agua es necesario disponer al menos de un recibo de la compañía de electricidad y de los datos de consumo energético en el período que se pretende estudiar. Además, la información que se puede extraer es importante y afecta no sólo a los costes, siendo indispensable para calcular la potencia activa cuando el factor corrector no aparece expresado en el contador de electricidad. También incluye los datos del contrato con la compañía eléctrica: potencia y tarifa contratada. Aplicando las tarifas eléctricas, publicadas anualmente en el B.O.E., a la información mencionada se obtiene el importe total adeudado.

Para el cálculo del coste del agua y su optimización, interesa conocer las tarifas aplicadas y los importes desglosados que están recogidos en el recibo (*figura 3*). Los bloques básicos que conforman la facturación son:

- . Término de potencia: término fijo, función de la potencia contratada.
- . Término de energía: función del consumo energético en el período de facturación.
- . Complemento por discriminación horaria: cuando existe tarifa múltiple, recargo o bonificación según la energía consumida en cada uno de los períodos horarios.
- . Complemento por reactiva: recargo o descuento sobre el total de la facturación básica, función del consumo de energía reactiva que se ha producido en el período de facturación.

El primer bloque se aplicará siempre, el segundo cuando exista consumo de energía y los dos restantes dependerán del tipo de tarifa y discriminación horaria contratada.

El resto de la facturación lo compondrá el equipo de medida alquilado que pueda existir y el IVA.

La relación entre el volumen extraído, deducido del consumo energético, y el importe adeudado por todos los conceptos, descontando el IVA, permite obtener el precio del m³ de agua extraído.

Por lo general para este cálculo se utilizan varios recibos, preferentemente los correspondientes a un año completo, con lo que se obtienen los costes medios anuales, los máximos y los mínimos.

En cuanto a las tarifas, cabe comentar que existen dos tipos básicos que son las de baja tensión (suministros efectuados a tensiones no superiores a 1000 voltios) y las de alta tensión (superiores a 1000 voltios), aplicándose el escalón de tensión que corresponda en cada caso. Cada uno de estos tipos se subdivide según períodos de utilización (corto, medio o largo) y usos. Estas tarifas se aprueban anualmente por Real Decreto.

EXPERIENCIAS EN DIFERENTES ACUÍFEROS

Son numerosos los Proyectos realizados por el ITGE, fundamentalmente en la Comunidad Autónoma de Andalucía, donde se ha aplicado el método propuesto entre otros sectores en los acuíferos del Bajo Guadalhorce, Sierra de Mijas, Llanos de Antequera, costero de Río Verde-Almuñécar, Motril-Salobreña, Carchuna-Castell de Ferro, Campo de Dalías, Vega de Granada, Baza-Caniles, Huéscar-Puebla, Unidad de Jaén, Bedmar-Jódar, Alcalá la Real, etc.

La exposición más detallada del método aparece recogida en los trabajos ITGE (1991c) e ITGE (1997), que parten de la experiencia de los diferentes Proyectos y del análisis de los mismos (Delgado et al., 1988, 1990, 1991); (Juárez, 1987, 1992); (Juárez et al., 1987); (Peinado et al., 1989 a y b) y (Rubio et al., 1989, 1996).

A continuación se hacen algunas consideraciones sobre los diferentes sectores donde se ha aplicado en las provincias de Granada, Málaga y Jaén.

Aplicaciones en la provincia de Granada

Más del 80% de los núcleos urbanos de la provincia se abastecen con recursos subterráneos a través de la captación de manantiales o de sondeos. En períodos de sequía como el pasado, incluso la capital ha dependido de la explotación de acuíferos como el de la Vega.

En la provincia, los materiales permeables que constituyen acuíferos de cierta entidad ocupan un área próxima a los 4.000 km², algo más del 30% de su superficie. Los recursos hídricos subterráneos alcanzan un mínimo de 1.000 millones de metros cúbicos renovables anualmente,

Figura 3. Recibo compañía eléctrica.

Acuífero de la Vega de Granada

Con motivo de actualizar el balance del acuífero de la Vega se desarrolló un proyecto (IGME, 1986b), en el que se visitaron 313 captaciones.

Se contrastó la fiabilidad del método de evaluación de volúmenes extraídos, controlando en distintas captaciones el volumen bombeado en un período de tiempo simultáneamente con contador volumétrico, aforo volumétrico en depósitos y consumo de energía, obteniéndose valores análogos.

De las 228 captaciones con equipo de elevación eléctrico se seleccionaron 67 como más representativas para el cálculo de los rendimientos. Los valores del rendimiento obtenidos fueron muy dispares, con un 50% comprendidos entre el 20 y el 40%, fundamentalmente debido a instalaciones mal dimensionadas.

En el año 1990 (ITGE, 1990f) se actualizaron los volúmenes extraídos para el período 1985-1990, tomando como base al Proyecto previo y aquellos puntos dotados de motor eléctrico que tenían calculada la relación m^3/kWh , seleccionando un total de 108 puntos, procediendo a la recopilación de consumos eléctricos durante los años 1985-1990.

Las extracciones estimadas para el acuífero de la Vega de Granada fueron de 41 hm^3 para los años 1985 y 1986 y 49 hm^3 para el año 1989.

Plan de control de los recursos, y recomendaciones de explotación como apoyo a la gestión de las captaciones subterráneas para abastecimiento en la provincia de Granada

Entre los objetivos del Plan de control, actualmente en realización, está el de estimar los volúmenes de extracción de aguas subterráneas en los sectores hidrogeológicos asociados al entorno de las captaciones para abastecimiento urbano, ofreciendo recomendaciones sobre los volúmenes máximos de explotación, además de elaborar un plan sobre la correcta instalación y tipo de equipos de bombeo, minimización de costes energéticos, etc...

Con anterioridad, se realizó un ensayo previo (ITGE, 1990g) en el sector noroccidental de la provincia, donde se analizó el estado actual de las captaciones destinadas a abastecimiento.

El funcionamiento medio de las 60 captaciones analizadas fué de 3.315 horas/año, lo que supone unas 9 horas/día elevando en conjunto cerca de $8 \text{ hm}^3/\text{año}$, con un caudal de explotación que oscila entre 1 y 38 l/s.

Los rendimientos apreciados en los equipos de elevación fueron muy dispares, con un rendimiento medio del 43%. El histograma con la distribución frecuencial de los rendimientos mostraba un máximo principal entre el 40 y el 60%, que reúne el 44% de los datos, y un

segundo máximo, entre el 20 y el 40%, con el 39% de los datos (*Figura 5*). Los rendimientos observados son óptimos o normales ($R > 50\%$) en un 34% de los casos, mostrando el 66% restante un funcionamiento deficiente o muy deficiente. En gran parte, estos bajos rendimientos se deben a que los equipos de elevación están sobredimensionados, sin que exista una relación adecuada entre éstos y las características hidráulicas de las obras de captación, la regulación o las necesidades reales de la población abastecida. Es frecuente la utilización de válvulas de regulación, que encarece el coste del m^3 elevado.

Acuíferos de Montilla-Puebla-Hués-car y sector noroccidental de la Sierra de Orce

La aplicación del método permitió actualizar las extracciones en el sector integrado en la antigua zona de control nº 9 de Orce-Hués-car, contemplada en el Decreto 735/1971, llegando a una estimación de $6,2 \text{ hm}^3/\text{a}$ (ITGE, 1988f).

Aplicaciones en la provincia de Málaga

En la provincia de Málaga se aplicó el método durante el año 1.986 (IGME, 1986c), analizando de forma sistemática las captaciones destinadas a abastecimiento público en dos tercios de su territorio.

El equipo de elevación existente en un 80% de las 82 captaciones analizadas era un grupo moto-bomba sumergido, con potencia entre 10 y 180 CV, funcionamiento entre 3 y 19 horas/día y extracción entre 90 y $4.200 \text{ m}^3/\text{día}$, a una altura manométrica de 90-100 metros.

Las instalaciones presentaban un rendimiento medio de un 39,5%, con mínimos de hasta el 8%. En el histograma de distribución frecuencial de rendimientos, se observó que en el 50% de los casos quedaban comprendidos entre el 30% y 50% (*Figura 6*). Los rendimientos eran bajos o muy bajos en el 77% de los casos, alcanzándose, sólo en el 33% de los equipamientos un rendimiento aceptable (50%).

La extracción de un metro cúbico de agua costaba entre $2,2 \text{ PTA}/\text{m}^3$ y $29,6 \text{ PTA}/\text{m}^3$, con un coste medio de $10,5 \text{ PTA}/\text{m}^3$.

Aplicaciones en la provincia de Jaén

Acuíferos de Alcalá la Real-Santa Ana, Bedmar-Jódar y Castillo-La Imora (Jaén)

Su aplicación no detectó la existencia de sobreexplotación en el acuífero de Alcalá la Real, y sí una situación límite en la explotación de los acuíferos de Bedmar-Jódar y Jaén. ITGE (1988 g,h) y (Peinado et al., 1989 a y b).

Figura 5

Figura 6

CONCLUSIONES

El método aquí descrito es de aplicación para evaluar las extracciones de agua subterránea, así como para analizar el rendimiento de las instalaciones, estimar el coste energético de la explotación y detectar posibles funcionamientos inadecuados o falta de idoneidad del contrato con la compañía eléctrica.

Es de destacar el interés del método en los siguientes aspectos:

- Controlar la evolución de las extracciones en acuíferos, en especial en los que presentan riesgo de sobreexplotación o intrusión marina.
- Facilitar la cuantificación puntual de las extracciones de los usuarios por sectores de acuífero, y su correlación con la evolución de los niveles a partir de las redes de control y las series pluviométricas.
- Reconstruir series históricas de extracciones en años anteriores a la realización de la encuesta, difíciles de obtener de otra forma. Una vez realizada la encuesta de explotación, se pueden llegar a reconstruir series de extracciones de forma puntual o sectorial, válidas para el período desde que se instaló el contador de energía y el conjunto motobomba, siempre que se disponga de los datos de facturación de consumos eléctricos.
- Al permitir analizar la idoneidad de la explotación y que los usuarios rebajen sus costes energéticos, puede impulsar su interés en el control de sus explotaciones.

Una estimación sobre los costes de aplicación del método podría hacerse a partir de jornadas de dedicación, en un acuífero de gran superficie como el de la Vega de Granada con 108 puntos principales de bombeo:

- Análisis de la documentación previa incluyendo la selección de puntos donde realizar la encuesta de cuantificación de volúmenes de bombeo (30 jornadas).
- Realización de la encuesta de cuantificación de volúmenes de bombeo a partir de aforo directo, estimación de la relación “E” y análisis del acondicionamiento actual de los pozos/sondeos (2 pozos/jornada. 54 jornadas).
- Cuantificación de extracciones en diferentes períodos de tiempo a partir de recibos de electricidad y recomendaciones sobre la correcta instalación de equipos de bombeo, de control, contrato con la suministradora y otros (20 jornadas).

El coste global de implantación del método vendría a ser de unas 51.000 PTA por pozo, equivalentes en el caso considerado a unas 0,15 PTA por m³ extraído o unas 55 PTA por hectárea

de acuífero controlado. Una vez implantado el método, el coste anual de aplicación es de solamente unas 10.000 PTA/pozo, equivalente a unas 0,03 PTA/m³ o unas 11 PTA/ha.

En cuanto al margen de error del método, caben las siguientes consideraciones sobre posibles errores en el cálculo de los elementos que intervienen:

- Caudal de extracción: con aforo volumétrico se presentan errores medios, cercanos al 10%. Cuando se cuenta con un contador volumétrico a la salida del sondeo o se emplean caudalímetros, la cuantía del error puede bajar hasta un máximo del 5%.
- Potencia activa: su cálculo no está sujeto a errores de cuantía notable. El error que se comete rara vez supera el 2%.
- Se puede situar el error máximo en el cálculo del rendimiento en un 5% y el de la relación “E”, que a su vez nos dará el volumen extraído, en un 10%. Esta estimación viene avalada por los valores obtenidos en diversos estudios realizados y comprobados prácticamente.
- Los errores achacables sobre los cálculos debidos a las variaciones en el nivel dinámico, en diferentes intervalos de tiempo pueden minimizarse, de repetirse la encuesta en diferentes intervalos del año y diferentes condiciones de lluvia y de niveles dinámicos. A efectos prácticos de cálculo, se pueden asignar valores de nivel dinámico diferentes en diferentes períodos del año y/o condiciones pluviométricas del año en concreto.

A efectos de comparar su utilidad frente a otros métodos hay que señalar:

- * El considerable coste económico que supondría la instalación de contadores directos en las captaciones, así como las dificultades que presentaría su mantenimiento, necesidad de medidas periódicas, verificaciones y correcto funcionamiento.
- * Las restricciones que presenta la utilización de imágenes de satélite cuando los riego son mixtos (aguas superficiales-subterráneas). El método por satélite es fundamentalmente válido para sectores agrícolas que únicamente dependan del recurso subterráneo (áreas costeras y archipiélagos Balear y Canario), si bien con dificultades dada la gran profusión de cultivos bajo plástico que enmascaran si se riega o no en un intervalo de tiempo concreto, además de no precisar la localización real de los puntos de bombeo. En riego de procedencia mixta en comunidades de usuarios con sondeos próximos a acequias de distribución de agua superficial, no sólo es complejo determinar si en un momento concreto se riega con agua subterránea, sino también en qué sondeo o conjunto de sondeos se bombea.

Se puede concluir diciendo que el método de cálculo propuesto es de fácil aplicación, al tiempo que proporciona resultados precisos y no presenta costes elevados.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la colaboración prestada en la preparación de esta ponencia por D. Juan Antonio López Geta, D. Joaquín Delgado Pastor y D. Francisco Miguel Sánchez Pérez.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDOLZ, J. Coste del Agua Subterránea para Abastecimiento Urbano. Servicio Geológico de Obras Públicas. Boletín nº 36. 1958.
- ARANA, J. Electrotecnia Industrial. Urmo, S.A. de Ediciones 1976.
- DELGADO PASTOR, J.; CASTILLO PÉREZ, E.; MITTELBRUM DAMAS, L.; RUBIO CAMPOS, J.C. (1988). Rendimientos de equipos de elevación para abastecimiento urbano en la Provincia de Málaga. Su incidencia en el coste del agua. II Congreso Geológico de España. Granada. pp 379 a 382.
- DELGADO PASTOR, J.; CASTILLO PÉREZ, E.; MITTELBRUM DAMAS, L.; RUBIO CAMPOS, J.C. (1990). Rendimientos de equipos de elevación para abastecimiento urbano en la provincia de Málaga. Su incidencia en el coste del agua. Tecnología del Agua 68. pp 43 a 46.
- DELGADO PASTOR, J.; RUBIO CAMPOS, J.C.; BEAS TORROBA, J.; CASTILLO PÉREZ, E. (1991). Estado de las captaciones subterráneas para abastecimiento en el sector noroccidental de la provincia de Granada. III Simposio sobre el agua en Andalucía Córdoba. pp 339 a 350.
- IGME 1977. Coste del agua subterránea. Colección Informe. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria.
- IGME. 1985. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (1ª y 2ª fase).
- IGME. 1986a. Proyecto de investigación para la mejora del abastecimiento de agua a los núcleos urbanos del sector suroccidental de la Provincia de Jaén.
- IGME. 1986b. Actualización de balances y evolución de los sistemas acuíferos del Alto Guadalquivir (1ª y 2ª Fases). Vega de Granada.
- IGME. 1986c. Proyecto de investigación para la mejora de los abastecimientos de agua a los núcleos del Sector Oriental de la Provincia de Málaga.
- IGME. 1987a. Control de explotaciones de agua subterránea en los acuíferos detríticos costeros de Motril-Salobreña, Almuñécar y Gualchos (año 1985-86). Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota técnica nº 293.
- IGME. 1987b. Medidas y cálculo de las explotaciones de aguas subterráneas en los acuíferos costeros de Motril-Salobreña, Almuñécar y Gualchos durante el último trimestre de 1986. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota técnica nº 308.
- ITGE. 1988a. Control de las explotaciones de agua subterránea en los acuíferos detríticos costeros de Motril-Salobreña, Almuñécar y Gualchos (observaciones correspondientes al año hidrológico 1986-87). Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 319.
- ITGE. 1988b. Medidas y cálculo de las explotaciones de aguas subterráneas en los acuíferos costeros de Motril-Salobreña, Almuñécar y Gualchos durante el último trimestre de 1987. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota técnica nº 325.

- ITGE. 1988c. Nota técnica Málaga nº 343. Control de explotaciones de agua subterránea en el acuífero de Almuñécar durante el año hidrológico 87-88.
- ITGE. 1988d. Nota técnica Málaga nº 346. Control de explotaciones de agua subterránea en el acuífero de Gualchos durante el año hidrológico 87-88.
- ITGE. 1988e. Nota técnica Málaga nº 350. Control de explotaciones de agua subterránea en el acuífero de Motril- Salobreña durante el año hidrológico 87-88.
- ITGE. 1988f. Proyecto para estudios de asesoramiento técnico en materia de aguas subterráneas a las Administraciones Públicas en la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir (Andalucía). Estudio de explotación en la zona de Orce-Huéscar. 2ª fase.
- ITGE. 1988g. Proyecto para estudios de asesoramiento técnico en materia de aguas subterráneas a las Administraciones Públicas en la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir (Andalucía). Estado de explotación del acuífero Bedmar-Jódar (Jaén).
- ITGE. 1988h. Proyecto para estudios de asesoramiento técnico en materia de aguas subterráneas a las Administraciones Públicas en la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir (Andalucía). Estado de explotación del acuífero Alcalá La Real/Santa Ana-Castillo La Imora (Jaén).
- ITGE. 1989a. Nota técnica Málaga nº 357. Control de explotaciones de agua subterránea en el acuífero de Gualchos durante el año hidrológico 88-89.
- ITGE. 1989b. Nota técnica Málaga nº 358. Control de explotaciones de agua subterránea en el acuífero de Almuñécar, durante el año hidrológico 88-89.
- ITGE. 1989c. Nota técnica Málaga nº 359. Control de explotaciones de agua subterránea en el acuífero de Motril- Salobreña durante el año hidrológico 88-89.
- ITGE. 1989d. Control de explotaciones de agua subterránea en el acuífero de Gualchos durante el año hidrológico 87-88. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota técnica nº 346.
- ITGE. 1989e. Control de explotaciones de agua subterránea en el acuífero de Almuñécar durante el año hidrológico 87-88. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota técnica nº 343.
- ITGE. 1989f. Estudio Hidrogeológico para la mejora de los riegos de la Hoya de Baza, Granada (Proyecto para la realización de trabajos de infraestructura hidrogeológica en las cuencas del Guadalquivir, Pirineo Oriental e Islas Baleares).
- ITGE. 1990a. Control de explotaciones de agua subterránea en el acuífero de Almuñécar durante el año hidrológico 1988-89. Proyecto de actualización, infraestructura, vigilancia y catálogo de acuíferos. Años 1988, 89 y 90. Bloque 3.
- ITGE. 1990b. Nota técnica Málaga nº 378. Balance hídrico del acuífero de los Llanos de Antequera.
- ITGE. 1990c. Nota técnica Málaga nº 379. Inventario de puntos de agua en el acuífero de Los Llanos de Antequera y evaluación del agua bombeada.
- ITGE. 1990d. Málaga nº 370. Control de extracciones de agua subterránea en el acuífero de Castell de Ferro durante el año hidrológico 89-90.
- ITGE. 1990e. Málaga nº 372. Control de extracciones de agua subterránea en el acuífero de Motril-Salobreña

durante el año hidrológico 89-90.

- ITGE. 1990f. Estudio de cuantificación de extracciones anuales en el acuífero de la Vega de Granada para el período 1985-90. Proyecto de apoyo a la infraestructura hidrogeológica en la Cuenca Alta del Guadalquivir (Granada-Jaén). 1ª fase.
- ITGE. 1990g. Proyecto para estudios de asesoramiento en materia de aguas subterráneas a Organismos de Cuenca y Comunidades Autónomas. Investigación sobre el estado de las captaciones para abastecimiento en el Sector Noroccidental de la Provincia de Granada. Definición de Normas y Recomendaciones de explotación de los acuíferos y Apoyo a la gestión hídrica en las provincias de Granada y Jaén.
- ITGE. 1991a. Control de extracciones de agua por bombeo en el acuífero de Sierra de Mijas años 1988-89 y 1989-90. Nota técnica nº 374.
- ITGE. 1991b. Control de extracciones de agua subterránea en el acuífero de Almuñécar durante el año hidrológico 89-90. Proyecto de actualización, infraestructura, vigilancia y catalogo de acuíferos. Años 88-89 y 90. Bloque 1. Nota técnica nº 371.
- ITGE. 1991c. Guía Metodológica para la elaboración de perímetros de protección de captaciones de aguas subterráneas. Colección informe. pp 47-74.
- ITGE. 1991d. Inventario de puntos de agua en el acuífero de Los Llanos de Antequera y Evaluación del agua bombeada (Málaga). N. T. nº 379.
- ITGE. 1991e. Balance hídrico del acuífero de Los Llanos de Antequera (Málaga). Nota técnica nº 378.
- ITGE. 1992a. Nota técnica nº 403. Control de extracciones de agua subterránea en acuíferos del sector occidental de la cuenca Sur (acuíferos de Motril-Salobreña, Almuñécar, Castell de Ferro y Bajo Guadalhorce). Años 1990-91 y 1991-92.
- ITGE. 1992b. Nota técnica nº 393. Acuífero costero de Almuñécar. Síntesis de los estudios realizados, situación actual y perspectivas futuras.
- ITGE. 1992c. Nota técnica nº 394. Acuífero costero de Castell de Ferro. Síntesis de estudios realizados, situación actual y perspectivas futuras.
- ITGE. 1993a. Proyecto de apoyo a la infraestructura hidrogeológica en la Cuenca Alta del Guadalquivir (Andalucía). (2ª fase). Estudio de cuantificación de las extracciones anuales en el acuífero de la Vega de Granada para el período 1985-90.
- ITGE. 1993b. Investigación para apoyo a las Administraciones Públicas en materia de aguas subterráneas en la Cuenca Sur. Apoyo a la gestión hidrológica en el Bajo Guadalhorce y modelización matemática del acuífero.
- ITGE. 1997. Guía para la evaluación de extracciones de aguas subterráneas mediante contadores eléctricos. Rendimientos y coste del agua.
- JUÁREZ GARCIA, J. (1987). Cuantificación de bombeos en pozos mediante el consumo de energía eléctrica. IV Simposio de Hidrogeología. Sección 3. Tomo XI. pp 503-514. Mallorca.
- JUÁREZ GARCIA, J. (1992). Cuantificación de bombeos en pozos mediante el consumo de energía eléctrica. Minería y Siderurgia. Segunda época. Año III-Nº 7. pp 14-20. Madrid.

- JUÁREZ GARCÍA, J.; RUBIO CAMPOS, J.C.; DEL VALLE CARDENETE, M. (1987). Evaluación de los volúmenes de extracción en pozos mediante el consumo de energía eléctrica y análisis de rendimientos de los equipos de elevación en la Vega de Granada. IV Simposio de Hidrogeología. Palma de Mallorca. pp 615 a 627.
- KARCZ, A.M. Fundamentos de Metrología Eléctrica Potencia y Energía. Marcumbo Boixareu Editores. 1977.
- PEINADO PARRA, T.; LUPIANI MORENO, E.; RUBIO CAMPOS, J.C.; CASTILLO PÉREZ, E. (1989a). Estado de explotación de los acuíferos Prebéticos de Bedmar-Jódar y Castillo-La Imora (Jaén). Congreso Nacional sobre La sobreexplotación de acuíferos. Almería. pp 117 a 132.
- PEINADO PARRA, T.; LUPIANI MORENO, E.; RUBIO CAMPOS, J.C.; CASTILLO PÉREZ, E. (1989b). Estado de explotación del acuífero de Alcalá la Real-Santa Ana (Jaén). Congreso Nacional sobre la sobreexplotación de acuíferos. Almería. pp 605 a 612.
- ROLDÁN, J. Manual de Medidas Eléctricas. C.E.A.C. 1981.
- RUBIO CAMPOS, J.C; DELGADO PASTOR, J. (1989). Estudio sobre el estado de la explotación del acuífero de Montilla-Puebla-Huésca y del sector Noroccidental del acuífero de la Sierra de Orce. Alto Guadalquivir. (Granada). Hidrogeología y Recursos Hidráulicos nº XIV. Tomo Homenaje a Jorge Porras Martín. pp 153 a 166.
- RUBIO CAMPOS, J.C.; BEAS TORROBA, J.; ALCAÍN MARTÍNEZ, G.; GONZÁLEZ RAMÓN, A.; NAVARRO IÁÑEZ, J.A.; CILLANUEVA DELGADO, L.; SERRANO PERTÍÑEZ, F. (1996). Plan de control de los recursos, adopción de medidas de prevención y recomendaciones de explotación como apoyo a la gestión de las captaciones subterráneas para abastecimiento en la provincia de Granada. pp 465 a 474.