

# ENERGIAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICADA A BOMBEO EN LA PROVINCIA DE GRANADA

**Autor(es) de la comunicación:** AYASO MARTINEZ, Alberto<sup>(2)</sup> ; MORATALLA DIAZ, Manuel <sup>(2)</sup> ; ; GÁMEZ GALIANO, Josefa <sup>(4)</sup>; MARTÍN ROSALES, Wenceslao <sup>(4)</sup>; ESTEBAN LÓPEZ, Gonzalo <sup>(3)</sup>; ALCAIN MARTÍNEZ, Gema <sup>(1)</sup>; GARCIA MARTINEZ, Francisco Javier <sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup> Diputación de Granada, <sup>(2)</sup> Empresa Granada INNOVA, <sup>(3)</sup> Agencia Provincial de la Energía de Granada (Diputación de Granada), <sup>(4)</sup> Universidad de Granada.

**Palabras clave:** Agua, Energía, Granada, Energías Renovables, Bombeos.

**Resumen:** La provincia de Granada tiene un 80% de los municipios con captaciones subterráneas para abastecimiento de Agua, de esta manera conocer el estado actual de las instalaciones, y trabajar en su optimización es un asunto vital para los granadin@s. Así, se presenta en esta comunicación el resultado de los trabajos desarrollados por la Agencia Provincial de la Energía de Granada y la empresa pública Granada Innova para Diputación de Granada sobre la optimización del uso de energía asociado a este tipo de instalaciones. Las líneas de actuación principales que se establecen son:

- Tele gestión
- Control de la reactiva
- Funcionamiento en horas valle y adecuada facturación eléctrica, contratación 100% renovable
- Potencia Adecuada
- Arrancadores Electrónicos
- Instalación de motores de alto rendimiento
- Variadores de Frecuencia
- Potencial Eólico/solar asociado a el consumo de bombeo para la provincia

## 1. TEXTO PRINCIPAL

### a. INTRODUCCIÓN

En la Provincia de Granada se da una situación peculiar cuando hablamos del abastecimiento de agua de los municipios, ya que hay que destacar que el 55% de los recursos hídricos son subterráneos y que el 80% de los municipios tienen captaciones subterráneas, es decir, tiene una o varias captaciones individuales de manantiales o de sondeos.

Todo esto hace muy importante para la provincia el estudio y la optimización de los equipamientos de captaciones subterráneas de la provincia, y de esta manera se presentan en esta comunicación las principales conclusiones obtenidas en los trabajos de la Agencia Provincial de la Energía de Granada y la empresa Granada INNOVA sobre la optimización de estas instalaciones en la provincia.

## **b. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS ABASTECIMIENTOS DE CAPTACIONES SUBTERRANEAS**

Los trabajos desarrollados por la Diputación de Granada, la Empresa Granada INNOVA, y la Agencia Provincial de la Energía de Granada vienen apoyados en los que se realizaron ya en su momento a mediados de los años 90 por parte de la propia Diputación de Granada y el Instituto Geológico y Minero de España dentro del “PLAN DE CONTROL DE RECURSOS Y GESTIÓN DE CAPTACIONES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA ABASTECIMIENTOS URBANOS DE LA PROVINCIA DE GRANADA”. En este plan se trabajó principalmente en la optimización de la contratación eléctrica de los diferentes suministros existentes, sugiriendo otra serie de mejoras técnicas que se querían llegar a evaluar en posteriores fases.

Posteriormente se llegó a trabajar en el programa AUDGRA de Diputación gestionado por la Agencia de la Energía de Granada, donde se establecían algunas medidas de actuación concretas adicionales a la optimización de la facturación en aquellos municipios donde el porcentaje de consumo de los sondeos era muy elevado. A partir de estos resultados y de otros estudios realizados para evaluar el potencial de la Provincia de Granada en Geotermia, la propia Agencia pudo evaluar la idoneidad de acometer sondeos con instalaciones de energías renovables.

Por último, es la empresa Granada INNOVA, la que actualmente está desarrollando los principales trabajos de actuación en los bombeos públicos de la provincia para poder optimizarlos a nivel técnico. Además la Agencia de la Energía de Granada está trabajando en desarrollar una central de compras energética que le permita a los municipios de la provincia optimizar sus contratos eléctricos (en una primera fase

en Alumbrado Público, pero con la idea de poder extender esta actuación a otros servicios).

De los últimos estudios realizados por parte de la empresa Granada INNOVA, y de lo que se desprende de estudios anteriores realizados por Diputación de Granada se puede hablar de las siguientes conclusiones generales relativas al estado de las instalaciones en distintos municipios de la provincia de Granada.

En la mayoría de los municipios se desconoce el rendimiento de la red, no se contabilizan, en alta, los volúmenes en de agua tratada. Esto da lugar a un desconocimiento en materia de pérdidas de agua por averías, fugas no localizadas, consumos municipales no registrados, y fraudes por tomas ilegales. Esto ha llevado en algunos casos, a un mal dimensionamiento de las instalaciones de bombeos e incluso depósitos de distribución, encontrándonos con tarifas inadecuadas para algunas instalaciones, falta de elementos reguladores en materia de energía eléctrica, falta de elementos esenciales para mejorar el rendimiento y el mantenimiento de las instalaciones de bombeo, etc.

En general no se realiza un mantenimiento y seguimiento adecuado en este tipo de instalaciones. Las tarifas eléctricas se encuentran, en muchos casos, compartidas con otros servicios municipales (alumbrado, dependencias municipales, etc), siendo muy difícil relacionar los consumos de la instalación con el rendimiento de la instalación. También se han detectado importantes deficiencias en elementos esenciales en las instalaciones de bombeos como ventosas, manómetros, válvulas antiretorno, niveles de máximo y mínimo, y de protección, etc, así como elementos para mejorar una eficiencia energética adecuada (variadores de velocidad, corrección de reactiva por medio de baterías de condensadores, cuadros eléctricos adecuados, etc.).

El funcionamiento y cantidad de agua tratada, al desconocerse los volúmenes de agua, no se encuentra acorde con los consumos. Se intentan mantener los depósitos al máximo de su capacidad sin tener en cuenta las horas de

funcionamiento, arranques y paradas de la instalación desde su procedencia. También se da el caso de instalaciones con depósitos incapaces de mantener los niveles de seguridad para garantizar la continuidad del servicio de agua prestado, por lo que están obligados a mantenerse siempre al máximo de su capacidad.

### **c. MEDIDAS PARA OPTIMIZAR LAS INSTALACIONES**

#### **I. Recomendaciones generales**

Se recomiendan una serie de actuaciones, para las diferentes instalaciones municipales relacionadas con los servicios de agua, con el objeto de mejorar la eficiencia del servicio.

Tener controlados, en cada momento, los volúmenes de agua manejada es fundamental, siendo necesaria la instalación de contadores y caudalímetro de agua en captaciones, bombeos y salida de los depósitos de distribución. Este dato, volumen de agua tratado y distribuido (rendimiento), es fundamental para el dimensionamiento del servicio, incluyendo las instalaciones, redes y depósitos.

Las instalaciones se deben controlar de forma independiente, diferenciando los rendimientos y los costes, junto con el grado de eficiencia en materia de energía. Se deben instalar elementos seleccionados expresamente para cada instalación que sirvan para mejorar los rendimientos y reduzcan el consumo eléctrico de las mismas. Se deben ajustar las tarifas eléctricas, horas y periodos de funcionamiento, a las necesidades del servicio, reduciendo en lo posible los arranques y paradas en los bombeos. También es recomendable la instalación de variadores de velocidad, baterías de condensadores y elementos esenciales en los sondeos como niveles de máximo y mínimo, tubo piezométrico, ventosas, válvulas de retención, manómetros, cuadros eléctricos de protección, etc.

Es importante una buena coordinación entre los equipos de bombeo y depósitos en alta y distribución, para ello se recomienda la instalación de automatismos regulados por telecontrol, capaces de mantener el equilibrio rendimiento-costes.

#### **II. Aplicación de energías renovables (EERR).**

Asimismo, y dada la lejanía de algunos puntos de suministro a infraestructuras convencionales, una posible actuación relacionada con la optimización del consumo

de energía de estas instalaciones es la de apoyar las mismas con generación distribuida de energía renovable asociada a ellas. Pueden ser instalaciones de bombeo de agua, o instalaciones asociadas a otros servicios como la cloración, etc. De este modo la Agencia Provincial de la Energía de Granada, realizó un estudio de evaluación del potencial eólico en la provincia para su aprovechamiento en instalaciones tanto públicas como privadas de energía minieólica de bombeo (y/o mixtas solar/eólica).

Se presenta, por tanto, dicho estudio sobre la viabilidad de utilización de la energía eólica para el bombeo de agua subterránea. El objetivo perseguido es justificar la instalación de aero-bombas, mini-aerogeneradores o sistemas híbridos (con paneles solares fotovoltaicos). En este caso se tiene en cuenta tanto usos para captaciones de titularidad pública, como otro tipo de usos (agricultura, ganadería, abastecimiento urbano e industria).

El estudio de los recursos eólicos de las zonas de interés de la provincia de Granada, se ha realizado con los datos del mapa eólico facilitado por la Agencia Andaluza de la Energía de 2004 a 10 m de altura.

Dentro de las posibilidades de estudio en toda la provincia se han priorizado los materiales detríticos que constituyen buenos acuíferos (tienen una alta porosidad, permeabilidad y capacidad de almacenamiento, se recargan con facilidad y en ellos la perforación de pozos es fácil). Además se ha tenido en cuenta que la mayor parte de la superficie de regadíos se encuentra sobre materiales detríticos, algo a considerar en muchos casos, al ser importante ubicar la instalación cerca de los puntos de consumo y evitar así pérdidas en la distribución. Por todo ello, se ha hecho hincapié en el estudio en las zonas donde se encuentran acuíferos detríticos: Guadix y Baza-Caniles.

En esta zona observamos que la dirección preferente de vientos es hacia el sur, la velocidad promedio es de aprox. 4,3 m/s, la velocidad máxima es de aprox. 5,09 m/s y la mínima de aprox. 3,52 m/s. Se debe tener en cuenta que la velocidad mínima

para que arranque un molino de viento está en torno a los 4 m/s y para un mini-aerogenerador en torno a los 2,5 m/s.

| PUNTO SELECCIONADO   | PUNTO MEDIDO |           | VELOCIDAD MEDIA | DIRECCIÓN | ENERGÍA             |
|----------------------|--------------|-----------|-----------------|-----------|---------------------|
|                      | UTM -X       | UTM -Y    | (m/s)           |           | (W/m <sup>2</sup> ) |
| Caniles              | 530.360      | 4.141.477 | 5,09            | S         | 1.374               |
| Jerez del Marquesado | 483.538      | 4.111.706 | 4,74            | NNE       | 1.327               |
| Lanteira             | 483.538      | 4.111.706 | 4,74            | NNE       | 1.327               |
| Alquife              | 483.538      | 4.111.706 | 4,74            | NNE       | 1.327               |
| Calahorra, La        | 498.937      | 4.111.413 | 4,67            | NNE       | 1.288               |
| Aldeire              | 498.937      | 4.111.413 | 4,67            | NNE       | 1.288               |
| Ferreira             | 498.937      | 4.111.413 | 4,67            | NNE       | 1.288               |
| Dólar                | 498.937      | 4.111.413 | 4,67            | NNE       | 1.288               |
| Huéneja              | 498.937      | 4.111.413 | 4,67            | NNE       | 1.288               |
| Cúllar               | 530.672      | 4.156.822 | 4,65            | S         | 1.100               |
| Benamaurel           | 530.672      | 4.156.822 | 4,65            | S         | 1.100               |
| Gor                  | 499.542      | 4.142.087 | 4,54            | S         | 995                 |
| Gorafe               | 499.542      | 4.142.087 | 4,54            | S         | 995                 |
| Cortes de Baza       | 515.566      | 4.172.478 | 4,48            | NNE       | 1.003               |
| Freila               | 515.259      | 4.157.134 | 4,37            | S         | 904                 |
| Baza                 | 515.259      | 4.157.134 | 4,37            | S         | 904                 |
| Cuevas del Campo     | 499.845      | 4.157.442 | 4,24            | S         | 875                 |
| Guadix               | 483.835      | 4.127.048 | 4,19            | S         | 842                 |
| Purullena            | 483.835      | 4.127.048 | 4,19            | S         | 842                 |
| Graena               | 483.835      | 4.127.048 | 4,19            | S         | 842                 |
| Marchal              | 483.835      | 4.127.048 | 4,19            | S         | 842                 |
| Beas de Guadix       | 483.835      | 4.127.048 | 4,19            | S         | 842                 |
| Alcudia de Guadix    | 483.835      | 4.127.048 | 4,19            | S         | 842                 |
| Polícar              | 483.835      | 4.127.048 | 4,19            | S         | 842                 |
| Lugros               | 483.835      | 4.127.048 | 4,19            | S         | 842                 |
| Cogollos de Guadix   | 483.835      | 4.127.048 | 4,19            | S         | 842                 |
| Albuñan              | 483.835      | 4.127.048 | 4,19            | S         | 842                 |
| Benalúa de Guadix    | 483.835      | 4.127.048 | 4,19            | S         | 842                 |
| Peza, La             | 468.431      | 4.127.336 | 4,05            | S         | 786                 |
| Diezma               | 468.431      | 4.127.336 | 4,05            | S         | 786                 |
| Darro                | 468.431      | 4.127.336 | 4,05            | S         | 786                 |
| Fonelas              | 484.133      | 4.142.391 | 3,9             | S         | 703                 |
| Huélago              | 484.133      | 4.142.391 | 3,9             | S         | 703                 |
| Bogarre              | 468.723      | 4.142.678 | 3,52            | S         | 576                 |
| Moreda               | 468.723      | 4.142.678 | 3,52            | S         | 576                 |

Tabla 1. Mapa eólico 2004 /10m. Agencia Andaluza de la Energía

Por tanto, teniendo en cuenta tanto el potencial eólico, como la disponibilidad de acuíferos óptimos, las zonas propicias para la ubicación de un sistema de bombeo de aguas subterráneas en la provincia de Granada son la zona de Guadix y la zona de Baza–Caniles.

Es posible bombear agua subterránea con energía eólica exclusivamente mediante molinos de viento si la velocidad del viento es de aprox. 4 m/s y los caudales de extracción son pequeños ( $\approx 1.000$  l/h) a gran profundidad ( $\approx 180$  m) o bien, caudales de extracción grandes ( $\approx 60.000$  l/h) a poca profundidad ( $\approx 18$  m).

Según el estudio realizado con datos proporcionados por empresas locales, podemos llegar a la conclusión de que la instalación de molinos de viento para bombeo de aguas subterráneas en zonas donde existe red eléctrica, no es viable en las condiciones económicas actuales. Es decir, si comparamos el ahorro de electricidad que se produciría al año con el coste íntegro de la instalación de un molino multipala, resulta no competitivo en la actualidad.

Por el contrario, en una zona aislada donde no hay red eléctrica, sí sería posible plantear esta instalación, pues el coste que supone llevar la red eléctrica a zonas aisladas es mucho mayor, y esto hace este tipo de instalaciones muy interesantes, tanto a nivel económico como ambiental.

Dadas estas conclusiones iniciales, se plantea también en este estudio la instalación de un sistema híbrido eólico/solar para conexión a red. De esta forma se abastecería con energía eléctrica producida por energías renovables. Principalmente se debe encontrar el punto óptimo entre ambas energías. En cualquier caso, es muy importante analizar las características de cada emplazamiento en concreto para dimensionar los equipos.

La zona seleccionada para hacer un estudio tipo que pueda servir de guía para nuevas instalaciones ha sido Paulenca, concretamente una parcela situada en la rambla de Galamar. Las coordenadas UTM son: X: 483.835; Y: 4.127.048.

En el caso elegido se extraen 14 l/s con una bomba de 12 CV. Dicha bomba se activa dos días a la semana, con una duración de 12 horas por día.

Analizando la fuente de energía eólica observamos que la cantidad de viento media de la zona es escasa a 10 m de altura. Debemos tener en cuenta que para plantear un sistema exclusivo con esta fuente, la velocidad debería ser entre 7 y 8 m/s. Esta es la velocidad que se requiere para poder arrancar el motor en nuestro caso, que es el momento donde se necesita mayor energía.

Por ello plantearemos como sistema principal el sistema fotovoltaico siendo apoyado por el sistema eólico. Así, la instalación estaría formada por un aerogenerador de 7,5 KW y aproximadamente unos 8 KW en placas fotovoltaicas, ya que debemos tener

en cuenta un coeficiente de seguridad por si alguno de los sistemas deja de abastecer las baterías.

Teniendo en cuenta una amortización a 7 años, mensualmente los costos rondarían aproximadamente en unos 1.550€ al mes (estudio de financiación de la instalación tipo realizado por Teican/Proingesol) frente a los 2.120€ en gasoil para un generador de 50KVA (13,7 l/h x 120 h/mes x 1,29€/l, según datos de instalaciones ya realizadas), que es lo que actualmente alimenta al sistema de bombeo. Por tanto, podría suponer un ahorro anual de 6.840€, además de un ahorro aproximado de 5,7 ton CO<sub>2</sub> al año.

Habría que tener en cuenta además, que esta instalación no se verá afectada por las posibles subidas de precio en el futuro del gasoil. Además de esto, se vuelve a señalar que normalmente estas instalaciones se implantan en zonas aisladas donde la ampliación de las redes de transporte eléctrica hace que los ahorros de este tipo de instalaciones sean mucho mayores.

## **2. CONCLUSIONES**

Dado el alto abastecimiento de agua a través de sondeos subterráneos en la provincia de Granada, se hace muy importante su estudio y optimización.

Existen multitud de actuaciones a nivel energético/económico en las que ya se está trabajando a través de la empresa Granada INNOVA y los convenios municipales gestionados por la Agencia Provincial de la Energía de Granada.

La energía eólica de baja potencia y la energía solar constituyen una importante opción energética, ya que tienen ventajas muy importantes frente a otras tecnologías, como es la posibilidad de ubicar sus instalaciones casi en cualquier sitio con un potencial eólico moderado. Además, aunque el coste inicial es relativamente alto comparado con otras opciones tradicionales, pueden ser más económicos a largo plazo debido a su bajo coste de operación y mantenimiento.

La instalación de molinos de viento para bombeo de aguas subterráneas en zonas donde existe red eléctrica, no es viable. En una zona aislada, sí sería posible



plantear esta instalación, pues el coste que supone llevar la red eléctrica a zonas aisladas es mucho mayor.

La energía fotovoltaica y eólica se pueden combinar para garantizar el suministro eléctrico en sistemas de bombeo de agua subterránea. Sólo se debe encontrar el punto óptimo entre ambas energías.

### **Agradecimientos**

Se quiere agradecer especialmente la colaboración a l@s técnic@s de todas las instituciones implicadas, y especialmente Laureano Garrido Pérez, Fernando Alcalde Rodríguez, y Antonio Azor Pérez.

### 3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

∨ ITGE-Junta de Andalucía (1998). Atlas hidrogeológico de Andalucía.

ITGE-Diputación de Granada (1990). Atlas hidrogeológico de la provincia de Granada.

ITGE-Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2000-2001). Revisión y Actualización de las Normas de Explotación de las Unidades Hidrogeológicas de las cuencas del Guadalquivir y Guadalete – Barbate.

RUBIO CAMPOS, J.C. Medida y evaluación de las extracciones de agua subterránea. ITGE, 2001.

ITGE-Diputación de Granada (2002-2007). Plan de Control de Recursos y Gestión de Captaciones de Aguas Subterráneas para Abastecimientos Urbanos de la Provincia de Granada.

ITGE. Mapa geológico de España, escala 1:50.000.

Martínez Navarrete, C. y García García, A. (2003). Perímetros de protección para captaciones de agua subterránea destinada a consumo humano. Metodología y aplicación al territorio. Publicaciones del IGME.

Atlas de las Energías Renovables y la Eficiencia Energética en Municipios Granadinos. Diputación de Granada, 2011.

#### - Bibliografía web:

<http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es> , <http://www.bornay.com> , <http://www.enertres.com> , <http://www.idae.es> , <http://www.tarrago.es/prod70.html> , [http://www.acsaeolica.com/es/productos\\_molinos.htm](http://www.acsaeolica.com/es/productos_molinos.htm) , [http://www.appa.es/12minieolica/12que\\_es.php](http://www.appa.es/12minieolica/12que_es.php) , [www.enair.es](http://www.enair.es) , [http://www.repoweringsolutions.com/tienda\\_aerogeneradores/minieolica/](http://www.repoweringsolutions.com/tienda_aerogeneradores/minieolica/) , <http://www.juntadeandalucia.es> , <http://www.chguadalquivir.es> , <http://www.ebara.es> , <http://www.teican.com> , <http://www.ironmanwindmill.com> , <http://www.eoi.es> , <http://www.renewablesmadeinspain.com> , <http://www.congresoregadiosyrenovables.es>