

AUTOMATIZACIÓN DEL BOMBEO EN UNA INSTALACIÓN DE RIEGO POR GOTEO

Carrión, P.¹, Sánchez, C.¹, Ortega, J. F.², Calvo M.A.² Montero, J.² y Tarjuelo, J.M.²

Simposio II “EL agua y sus usos agrarios”

RESUMEN:

Se presentan aquí los resultados obtenidos en el proyecto tipo de una red colectiva de riego por goteo para viñedo, olivar y cultivos hortícolas, con agua procedente de sondeo, así como el análisis de distintas soluciones de automatización del sistema hidráulico, buscando la solución más adecuada desde el punto de vista técnico y económico dentro de un estudio más amplio sobre las líneas de actuación a seguir en la transformación en regadío de una gran zona regable.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales líneas de actuación para la mejora de la instalación de riego se basa en su automatización a diferentes niveles. Con ésta se ahorra mano de obra, agua, energía eléctrica, etc., facilitando la gestión de la explotación al poder obtener datos estadísticos o de control sobre el manejo del riego, el consumo de agua, electricidad o fertilizantes, etc. (Tarjuelo 1995)

En general, la elección del nivel de automatización idóneo para cada situación debe realizarse siguiendo criterios técnico-económicos según las características de la explotación, e incluso las preferencias de los agricultores. Es importante tener en cuenta que estos niveles condicionan también la cualificación profesional del personal que maneje las instalaciones, y la dependencia de un servicio técnico que solucione sus posibles problemas. (Carrión et al 1998)

El proyecto en el que se basa este trabajo pretende plantear las líneas de actuación a seguir en la transformación en regadío de la mancomunidad “La Grajuela”, que comprende los municipios de Sisante, Casas de Benítez, Casas de Guijarro, y Pozoamargo, de la provincia de Cuenca, encaminadas al desarrollo de la zona, optimizando el aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles, y determinar la viabilidad de las mismas. Las actuaciones del proyecto se centran en:

- Localización de los cultivos existentes, e identificación de su problemática.
- Identificación de nuevos cultivos a introducir en la mancomunidad.
- Determinación de las zonas prioritarias a transformar en regadío sobre la base de criterios agronómicos, sociales, económicos, etc.
- Planteamiento de un proyecto “tipo” de transformación en regadío, con la instalación de una red comunitaria, para riego localizado en un área representativa de la comarca, determinando la dimensión que conduce al óptimo económico de la superficie regada desde un mismo punto.

¹ Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Universitario, E02071, Albacete, ESPAÑA. E-mail: carrión@iele-ab.uclm.es

² Centro Regional de Estudios del Agua. Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha. E02071, Albacete, ESPAÑA.

- Planteamiento de distintos grados de automatización y control del sistema hidráulico.
- Valoración económica de las propuestas realizadas bajo diferentes hipótesis de explotación y cambios socioeconómicos.

El presente trabajo se centra en los resultados obtenidos en el proyecto tipo y en el análisis de distintas soluciones de automatización del sistema de riego colectivo, buscando la solución más adecuada desde el punto de vista técnico y económico.

2. METODOLOGÍA

La determinación de las zonas prioritarias para la transformación en regadío pasa por la elección de las áreas con mayor interés para la introducción del riego, dividiendo esta superficie en varias zonas físicamente independientes desde el punto de vista de funcionamiento y manejo, aunque respecto a la gestión, administración y control se podría considerar una única zona.

Tanto la puesta en riego, como la reorientación de los cultivos deben estar encaminadas a la optimización del uso del agua, por lo que en los diseños de nuevas transformaciones en regadío cobran especial importancia especies que por un lado son capaces de obtener rendimientos económicos aceptables utilizando bajas dotaciones de riego, y por otro cubren un importante papel social y medioambiental, que precisan las zonas semiáridas, para poner freno al avance de la desertificación.

Para determinar la solución más ventajosa de transformación en regadío de la zona se ha realizado un proyecto tipo adaptado a la parcelación típica de la zona, analizando distintas soluciones en cuanto al tamaño de la superficie abastecida desde un mismo punto, utilización de hidrantes que abastecen a una sola parcela a grupos de ellas, nivel de automatización, etc. El proceso seguido ha sido:

- 1) Determinación de la dotación de las tomas, y de la válvula hidráulica (por toma o hidrante) de coste mínimo teniendo en cuenta el coste de inversión y el coste energético.
- 2) Determinación de la solución más barata entre realizar la conexión de las tomas de cada parcela directamente a la red o utilizar hidrantes colectivos que abastecen a varias parcelas
- 3) Determinación del óptimo económico de la superficie regada desde un mismo punto.
- 4) Análisis de distintas alternativas de automatización y control del sistema de distribución de agua.

3. RESULTADOS

La agricultura de mancomunidad de “La Grajuela” se caracteriza por el pequeño tamaño de sus explotaciones (21 ha de media), normalmente de tipo familiar, un elevado grado de parcelación con 13 parcelas por explotación y más del 75% de estas con tamaño inferior a 2 ha. La propiedad es el régimen de tenencia de tierras que predomina (85%), si bien el arrendamiento alcanza un porcentaje significativo (12%).

El cultivo por excelencia en la zona tanto desde el punto de vista socioeconómico, por su alta rentabilidad en la zona, como desde el punto de vista de la superficie ocupada con 5430 ha, es la vid. El segundo cultivo leñoso en importancia, actualmente en retroceso por los bajos rendimientos que se obtienen, es el olivo que ocupa 2000 ha

Teniendo en cuenta la distribución actual de cultivos, el estudio edafológico, los condicionantes socioeconómicos de la transformación, (propietarios implicados en la zona, distribución entre municipios) etc., se destaca una superficie de 1500 ha de mayor interés para la transformación, distribuida en 5 zonas, aunque podrían ampliarse hasta 2500 ha o más.

La solución más barata ha resultado la de hidrantes colectivos (con ventosa, válvula de mariposa y válvula hidráulica con piloto regulador de presión y limitador de caudal), del que se abastecen entre 4 y 6 tomas de parcela (con contador y válvula hidráulica), con la condición de no superar 15 ha y que el hidrante esté accesible desde un camino.

3.1 Óptimo de superficie regada desde un mismo punto

Para la determinación del óptimo económico de la superficie regada desde un mismo punto (con balsa de regulación), se han estudiado cinco alternativas con tamaños entre 100 y 460 ha en una zona representativa de la mancomunidad de “La Grajuela” en cuanto a cultivos, distribución de la propiedad, pendientes, etc., con la toma de agua centrada en la red, más dos alternativas con bombeo no centrado y otras tres con bombeo excéntrico. Para cada uno de estos módulos se ha realizado un trazado de la red, se han dimensionado diámetros y timbrajes de cada tubería, tomas, embalses, sondeos, instalaciones eléctricas y de bombeo necesarias, determinado los costes totales de la instalación para cada modulo. Posteriormente se realiza un estudio de costes de funcionamiento de los mismos y con el conjunto, se realiza el estudio económico que determina el tamaño óptimo del modulo de riego.

La distribución parcelaria de la zona se presenta en la fig. 1.

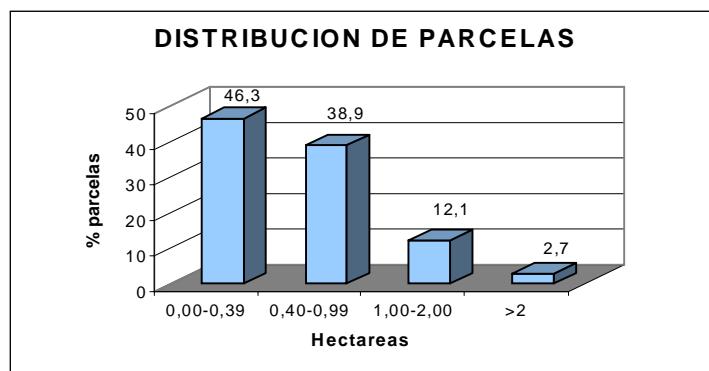


Fig. 1: Distribución de parcelas por su superficie

Los resultados de coste por hectárea de la red en las distintas alternativas estudiadas se muestran en la fig. 2.

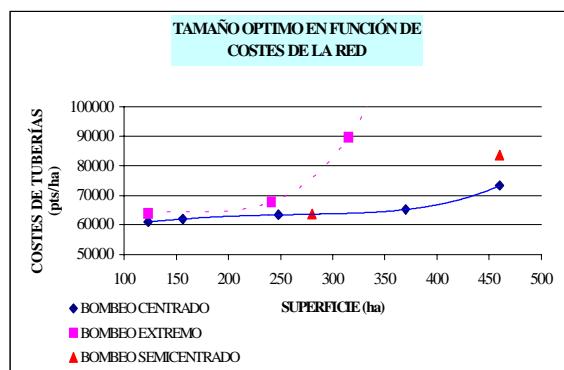


Fig. 2: Comparación de costes por hectárea de la red.

El coste por hectárea de las tomas e hidrantes de la red no depende del tamaño de la zona regable. La fig. 3 muestra la relación inversa entre el tamaño de las parcelas y el coste por hectárea de las tomas.

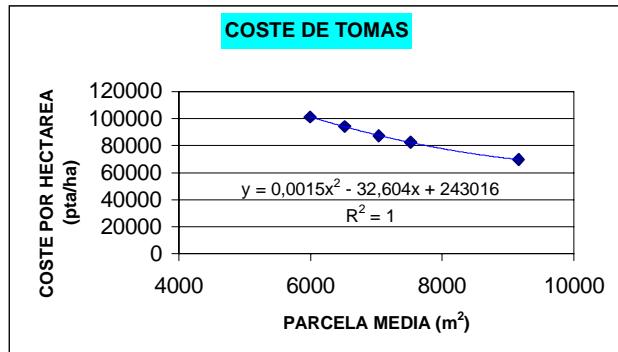


Fig.3: Costes por hectárea de tomas e hidrantes.

Las estaciones de bombeo a riego se han construido sobre un colector general que sale de la parte inferior de una balsa de tierra impermeabilizada en el cual se sitúan tubos de acero verticales que alojan a las bombas sumergidas. La solución más interesante corresponde a un conjunto de bombas en paralelo (entre 2 y 4 según el tamaño de la red de riego) con potencias entre 30 y 37 kW, una de ellas con variador de velocidad para poder adaptarse a la curva de demanda de la red. La evolución de los costes de inversión en la estación de bombeo según la superficie abastecida se muestra en la fig. 4.

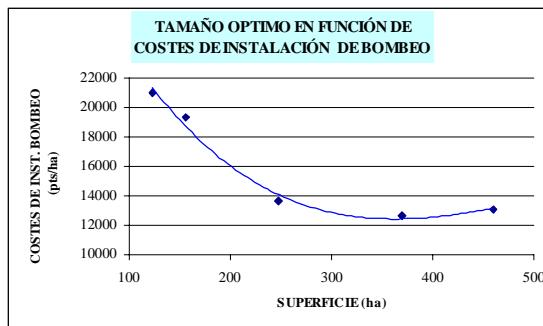


Fig. 4 Comparación de costes por hectárea de los equipos de bombeo

Para la determinación de los costes energéticos de bombeo en la red en los distintos tamaños se ha supuesto una zona regable llana, para no introducir distorsiones debidas a la topografía a la hora de buscar el tamaño óptimo de la zona regada desde un mismo punto, tarifa eléctrica R1 con discriminación horaria tipo B, y se ha teniendo en cuenta solo el coste energético imputable a la pérdida de carga en la red, restando de la presión necesaria en cabecera la presión existente en el punto de menor presión en la red. Los costes de bombeo debidos a las pérdidas de carga en la red aparecen en la fig. 5.

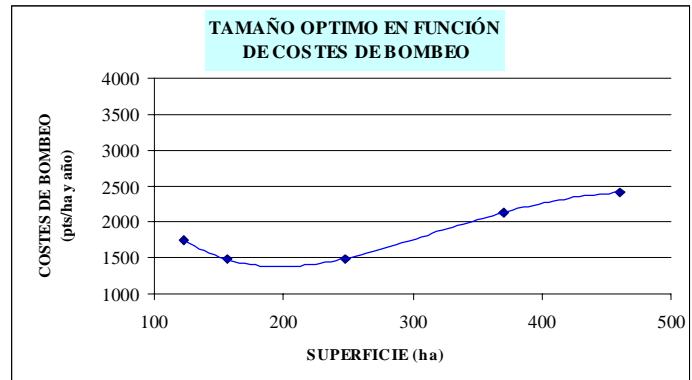


Fig. 5 Comparación de costes de bombeo

Como pone de manifiesto la fig. 5, éstos costes presentan un mínimo cuando la zona regable, con bombeo centrado, tiene alrededor de las 200 ha y se incrementan rápidamente tanto al aumentar el tamaño del modulo como al disminuirlo.

Los resultados del estudio comparativo de los costes anuales de la transformación en regadío respecto al tamaño de la superficie abastecida desde un mismo punto, contemplando los costes de inversión en la red de riego, la estación de bombeo, la balsa de regulación para almacenar como mínimo el volumen de riego de un día, los sondeos con su correspondiente grupo de impulsión, el centro transformador, etc. y los costes energéticos de extracción de agua de los sondeos en horas valle y de bombeo a la red de riego en hora valle y algunas llano, se muestran en la fig. 6.

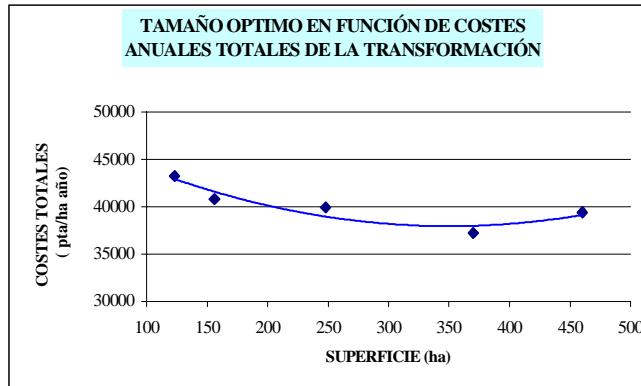


Fig. 6 Comparación de costes anuales totales de la transformación en los diferentes módulos

De todos los casos estudiados, la instalación que menores costes anuales totales presenta, es la que abastece 370 ha desde un punto centrado. Aunque las diferencias en el coste final no sean muy importantes al entrar en juego costes de amortización, sí existen diferencias importantes en los costes por hectárea de la instalación.

3.2. Automatización del bombeo

Tomando como base las instalaciones del modulo de 370 ha centrado, que hemos considerado económicamente óptimo, se exponen distintas soluciones de niveles de automatización del control del grupo de bombeo, y los hidrantes y tomas de parcela indicando sus principales ventajas y la estimación económica de su implantación.

A continuación planteamos diferentes soluciones basadas en un sistema de control digital en bucle cerrado, cuyo diagrama de bloques se representa en la fig. 7. El *proceso* en nuestro caso representa el bombeo de impulsión. En él encontramos los dos bloques básicos: **sensores** y **actuadores**. Los principales sensores del sistema pueden ser transductores de presión, caudalímetros o ambos que, situados al principio de la tubería de impulsión, tienen como misión la medida de la presión y/o el caudal de salida en cada instante, y conocer así

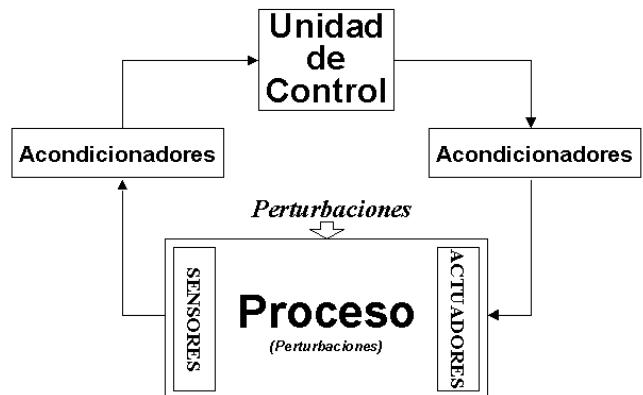


Fig. 7 Elementos fundamentales de un sistema de control en bucle cerrado

como se está desarrollando el proceso de impulsión. La señal producidas por los sensores, son enviadas, con el correspondiente acondicionamiento de transmisión a una **unidad de control digital** (autómata programable, microcontrolador u ordenador) donde se comparar con las de consigna (presión y/o caudal deseados), pudiendo producirse tres situaciones: a) las señales medidas se encuentran dentro de los márgenes deseados (consigna), en este caso el sistema no debe modificar su régimen de funcionamiento ya que se ha alcanzado el objetivo buscado; b) si alguna magnitud medida es menor que la deseada, el sistema debe reaccionar y actuar haciendo que dicha magnitud incremente su valor hasta que iguale a la de consigna; c) si la magnitud medida superase la de consigna la reacción del sistema debe ser la contraria.

La adaptación de la presión y/o el caudal a cada situación de trabajo, se realiza modificando el número y/o régimen de funcionamiento de las bombas. Partiendo de un sistema de control con el mismo diagrama funcional (fig. 7), presentamos varias soluciones técnicas para el control de la instalación con diferentes pautas de actuación sobre las bombas tomando como consigna la presión en la cabecera de la tubería principal de impulsión.

1. Utilización de grupos de velocidad variable y arrancadores electrónicos

Esta es la solución técnica más completa, con un mayor grado de automatización de las instalaciones, y por lo tanto con un mayor coste. Ofrece fácil adaptabilidad a la instalación existente mediante una regulación con grupos de velocidad variable, proponiéndose esta alternativa como solución a desarrollar en el proyecto por su relación calidad-precio.

Consiste en una asociación de las cuatro bombas en paralelo (fig. 8), donde tres bombas se accionan en la modalidad de *todo o nada* (funcionan a la velocidad nominal o están paradas, pero sin cambiar sus características) y la cuarta (llamada *jocker* o *comodín*) se acciona a través de un regulador de velocidad variable que posibilita, mediante el cambio en la velocidad de giro de la bomba, que el sistema de bombeo se adapte a la presión de consigna (opcionalmente también al caudal). Puesto que las bombas no conectadas al variador de velocidad podrán arrancar y parar numerosas veces en función de la demanda de la instalación, es conveniente que se alimenten a través de arrancadores electrónicos que posibiliten tanto el arranque como la parada de los motores de una forma suave, con las enormes ventajas que ello conlleva tanto en su vida útil como en su funcionamiento en general.

La utilización de arrancadores electrónicos produce, entre otras, las siguientes ventajas: se reducen las puntas de corriente durante el arranque y elimina las caídas de tensión en la línea, permite el arranque progresivo de los motores (especialmente interesante para los de gran inercia), se reduce el par de arranque (protegiéndose las partes mecánicas), posibilita la parada suave (reduciendo los golpes de ariete y los efectos de cavitación), facilidad de control, etc.

En la fig. 9 se presentan las curvas características del conjunto de cuatro bombas seleccionadas, una de ellas con variador de velocidad; así como la curva de consigna de la red ($H = 28,74 + 0,00026 Q^2$, con H en m y Q en l/s) para la situación más favorable de

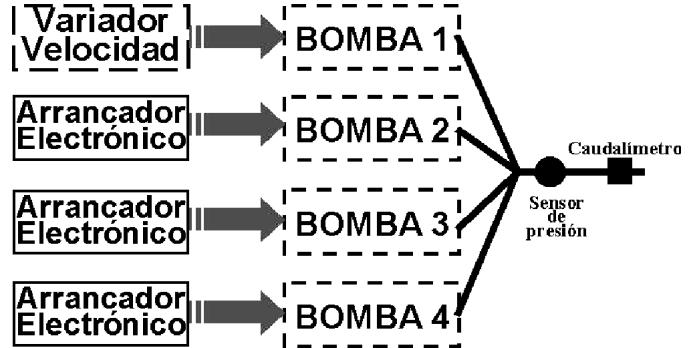


Fig 8. Con variador de velocidad y arrancador electrónico

distribución de caudales en la red según la estimación de los caudales probables por línea aplicando la formula de Clement (Clement 1966).

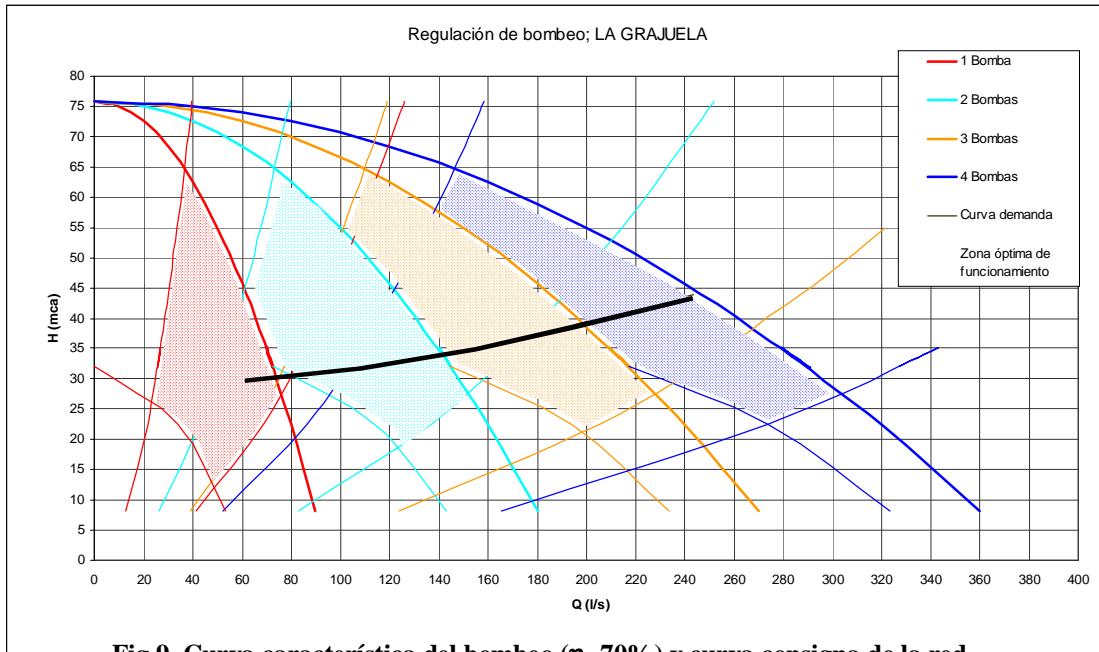


Fig.9. Curva característica del bombeo ($\eta=70\%$) y curva consigna de la red.

Con esta solución serán necesarios los siguientes elementos en la instalación: un variador de velocidad, tres arrancadores electrónicos, un autómata programable con módulos entrada/salida analógicos y digitales y un display para la visualización de los parámetros que caractericen el proceso, los sensores de presión y/o caudal, además de otros elementos secundarios como: cables, conectores, protecciones, acondicionadores de señal, etc

El funcionamiento de la instalación sería el siguiente: cuando se conecte la estación de bombeo, se pondrá en funcionamiento el variador de velocidad, aumentando progresivamente las revoluciones del motor buscando alcanzar la presión de consigna. La medida de presión, además de ser presentada en el display, es utilizada por la unidad de control para comparar con la presión de consigna y, en su caso, actuar sobre el variador de velocidad aumentando o disminuyendo las revoluciones del motor de la bomba. Si alcanzado el límite superior de las revoluciones, no se ha conseguido la presión requerida, se pondrá en marcha una bomba (en régimen nominal) y el variador reducirá las revoluciones del motor al valor mínimo, para posteriormente producir un nuevo incremento de revoluciones, buscando alcanzar la presión de trabajo. Si lo consigue el sistema se estabilizará, y en caso contrario se conectaría otra bomba, repitiéndose el proceso. Cuando la presión de trabajo es superior a la de consigna, la actuación del sistema se realizará de forma inversa, es decir, el variador reducirá las revoluciones y si no se llega a la presión de referencia, se desconecta una bomba y así sucesivamente.

Para conseguir que las horas de utilización, y por tanto el desgaste, sea uniforme en todos los motores, la conexión del variador de velocidad se realizará de forma rotatoria a las distintas bombas, y de igual forma se cambiará la secuencia de arranque del resto de las bombas.

El presupuesto estimado para esta solución es:

- | | |
|---|-------------|
| - 1 variador de velocidad de 37 kW | 780.000 pta |
| - 3 arrancadores electrónicos de 37 kW | 724.000 pta |
| - 1 Autómata programable con módulos entrada/salida | 348.000 pta |

- pequeño material, programación del autómata, instalación y puesta apunto de la instalación	3.180.000 pta
Total	5.032.000 pta

El coste unitario, teniendo en cuenta que la zona regable la constituyen 370 ha, supone la cantidad de **13.600 pta/ha**.

Como ya se ha dicho antes, esta solución es la más completa técnicamente, pero la que el coste es mayor.

2. Utilización de grupos de velocidad variable y arrancadores estrella- triángulo

Esta solución, respecto a la anterior, se plantea manteniendo el variador de velocidad, pero sustituyendo los arrancadores electrónicos por los convencionales arranques en estrella-triángulo (fig 10).

El nivel de automatización es el mismo de la solución anterior, pero no así la forma de actuar sobre las bombas.

La solución de arranque estrella-triángulo, si bien es ampliamente utilizada a nivel general ofreciendo buenas características, precisa de un cuidadoso diseño para que consiga el efecto deseado. El problema de la parada brusca de las bombas seguiría persistiendo si no se utilizan los sistemas adecuados. No se consiguen las ventajas que ofrecen los arrancadores electrónicos, citadas anteriormente.

La eliminación de los arrancadores supone, desde el punto de vista económico, una importante reducción en el presupuesto de la instalación ya que, además de estos elementos, se reducen los módulos de entrada y salida del autómata y se simplifica su programación.

El coste podría reducirse en unos 1.500.000 pta aproximadamente, quedando en 3.532.000 pta, lo que supone un coste unitario de **9.546 pta/ha**.

3. Utilización del grupo de velocidad variable, un arrancador electrónico y arrancadores estrella-triángulo

Una tercera solución intermedia entre las dos anteriores consiste en instalar, además del variador de velocidad, un arrancador electrónico, además de las conexiones estrella-triángulo en todos los motores de velocidad fija (fig 11).

La forma de actuar sería la siguiente: al disponer de un arrancador podemos hacer que éste actúe, mediante cambio automático de sus conexiones, sobre las tres bombas no conectadas al variador de velocidad. Sin embargo, en este tipo de convertidores está limitado el número máximo de operaciones por unidad de tiempo, por lo que si fuese

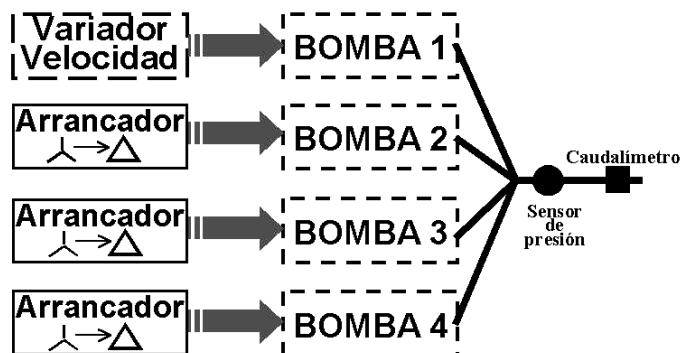


Fig 10. Con variador de velocidad y arranque estrella - triángulo

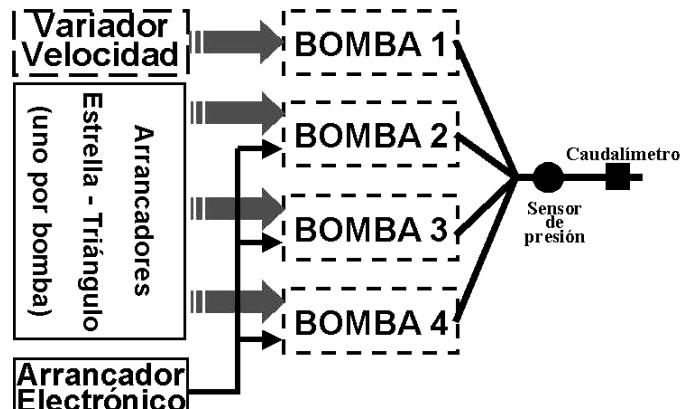


Fig 11. Con variador de velocidad, arrancador electrónico y estrella - triángulo

necesario arrancar y/o parar varias bombas en un corto intervalo de tiempo, no podría hacerlo el arrancador, actuando entonces las conexiones estrella-triángulo.

En resumen, cada bomba dispondría de su conexión estrella-triángulo y además de la posibilidad de ser arrancada electrónicamente. La unidad de control determinaría como prioritario el arranque electrónico, pero en el caso de superar el número máximo de operaciones y buscando la protección del arrancador, arrancaría en estrella-triángulo algunas bombas cuando fuese necesario.

El presupuesto en este caso se podría incrementar alrededor de 500.000 pta sobre la solución anterior, quedando en unas **3.032.000 pta**, con un coste unitario de **8.195 pta/ha**.

4. Utilización de válvula motorizada en el inicio de la impulsión

En la última solución que se propone, no se instalarán ni los variadores de velocidad ni los arrancadores electrónicos, y el control de las bombas sólo puede realizarse de forma discreta, conectándolas o desconectándolas. La regulación de la presión en cabecera de la red se realizaría actuando sobre la válvula motorizada mediante un control automático. Con esta solución el presupuesto se reduce drásticamente, ya que el autómata puede ser más básico (y por tanto más barato) y el desarrollo del programa de control supondría una menor carga sobre el presupuesto total.

De esta forma podríamos estimar el coste en **1.100.000 pta** aproximadamente, lo que supone **2.973 pta/ha**.

Por último hay que indicar que, aunque se han planteado cuatro soluciones de actuación, existirían infinidad de ellas por combinación de las anteriormente indicadas.

3.3 Automatización del control de los hidrantes y tomas de parcela

La automatización del sistema de riego al nivel de hidrantes colectivos y tomas de parcela, admite gran variedad de disposiciones y soluciones, por lo que no es posible desarrollarlas aquí de forma detallada, por ello hemos optado por presentar algunas ideal generales que puedan resultar representativas de las múltiples soluciones existentes.

Para un primer nivel de automatización de la zona regable sería aconsejable instalar temporizadores, alimentados con baterías o a través de paneles solares fotovoltaicos, que permitan realizar los cambios de subunidades de riego automáticamente al nivel de parcela, para lo cuál es necesario disponer de válvulas hidráulicas en el inicio de las mismas, que unidas mediante microtubos con el programador permitan a éste su control de apertura o cierre. Los temporizadores, son equipos económicos pero con limitadas prestaciones ya que únicamente disponen de señales de salida y, por tanto, no es posible establecer un sistema en bucle cerrado.

El precio de estos programadores para instalación en un grupo de hasta 16 parcelas con posibilidad de conexión a otros programadores, puede variar en un amplio margen de entre 20.000 y 70.000 pta, según características y prestaciones.

El nivel de automatización anterior se podría ver mejorado pasando a sistemas de control centralizado, unido en anillo a un conjunto de controladores de campo que pueden incluir sensores de presión y caudal para cada uno de los sectores. Esto permitiría la monitorización y registro de estas magnitudes durante el proceso del riego para controlar tanto su desarrollo como la facturación correspondiente. La inclusión de esta opción considerando un sensor de presión y uno de caudal por parcela supondría un costo adicional del orden de

50.000 pta que habría que añadir al del programador que en este caso debería ser de los de más altas prestaciones y, por tanto, de mayor precio.

La conexión entre unidades de campo y de estas con los hidrantes podría hacerse mediante una red de cables, lo que permitiría a su vez la alimentación de los programadores con energía eléctrica y eliminar la dependencia de las baterías o paneles solares, lo que reportaría una mayor fiabilidad a la instalación. Resulta muy fácil enviar diferentes tipos de señales e información por un solo cable, bien usando diferentes frecuencias o utilizando algún tipo de codificación. La principal ventaja de este sistema es que la automatización se puede acometer en etapas, estableciendo programadores por zonas, y una vez automatizadas todas, realizar el control centralizado.

La elección del medio de comunicación (cable, radio, fibra óptica etc.) puede estar condicionada por factores económicos, orográficos o estructurales. Así por ejemplo, cuando el tendido puede realizarse junto con otras obras de infraestructura, puede resultar interesante el uso de las líneas físicas. El sistema tiene entonces una configuración en forma de anillos, donde cada unidad de campo va unida a la siguiente con dos hilos hasta cerrar el bucle. En este caso se puede tender simultáneamente el cable de comunicación y el de alimentación eléctrica, a no ser que se utilicen paneles solares o grupos no autónomos (baterías, etc.) para la alimentación, pudiendo darse el caso de utilizar el mismo cable para alimentación eléctrica y comunicación.

Cuando la unidad de control tenga que conectarse a varios periféricos dispersos podría resultar más económico el enlace por radio con un alcance de hasta unos 20 km o una combinación de enlace radio y líneas físicas. La utilización de la radio puede implicar un incremento considerable del consumo eléctrico por terminal remoto.

Como puede verse según lo que acabamos de indicar existe diferentes soluciones tanto desde el punto de vista tecnológico como económico que deberán adaptarse a las características de la explotación y con un coste que puede oscilar entre 20000 pta/ha para niveles mínimos de automatización hasta unas 150000 pta/ha. para los niveles mas altos.

BIBLIOGRAFÍA.

- Carrión, P., Sánchez, C., Ortega, J. F., Molina, E. y Montero, J. 1998. Automatización del grupo de bombeo en una instalación de riego por aspersión. XVI Congreso Nacional de Riegos. Palma de Mallorca, 2-4 de junio de 1998.
- Clement, R. (1966). Calcul des débits dans les réseaux d'irrigation fonctionant a la demande. La Houille Blanche, 5
- Tarjuelo J.M. 1995. El riego por aspersión y su tecnología. Mundi-Prensa S.A. Madrid.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido promovido por la Dirección General del Agua de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente (Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha) dentro del Convenio de Colaboración con la Universidad de Castilla-La Mancha para la realización de Estudios de Mejora y Modernización de Regadíos.