

Telecontrol de Hidrantes en Regadíos con Alimentación Autónoma por Miniturbina

Antonio Barbancho*, Gemma Sánchez*, Julio Barbancho*, Fco. Javier Talavera**, Nemesio Seguro**

*Departamento de Tecnología Electrónica, Universidad de Sevilla, ayboc@us.es, gemma@us.es, julenbc@dte.us.es

**Escuela Universitaria Politécnica, Universidad de Sevilla, jataca24@hotmail.com

Resumen—El presente trabajo presenta una forma novedosa de obtener la tensión de alimentación de una estación de telecontrol de regadío con comunicación GSM, así como los requerimientos que dicha alimentación impone sobre las características de la propia estación. En concreto, se pretende aprovechar la presión y energía cinética del agua de la red de regadío para alimentar las estaciones mediante una miniturbina hidráulica.

Palabras Clave— Bajo consumo, Estación remota de telecontrol, Regadío, Turbina hidráulica.

I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías orientadas a la automatización de los sistemas de regadío son bastante maduras. Existe un mercado que proporciona multitud de sistemas comerciales de diversas prestaciones, ampliamente disponibles y a precios relativamente asequibles. Sin embargo, todavía se introducen mejoras en los sistemas, especialmente las importadas de otro campo en continua renovación: el de las comunicaciones. En la actualidad los antiguos sistemas en los que las estaciones remotas se conectaban a la central de control mediante cables, se están actualizando a sistemas inalámbricos, con unos costes de instalación mucho más baratos. Normalmente, la tecnología preferida es la GSM por su amplia disponibilidad y diversidad de fabricantes con compatibilidad garantizada (sistema abierto que favorece la competencia y, por tanto, reduce los precios). Evidentemente, para poder usar esta tecnología es necesario que esté disponible en la zona de regadío. Este extremo suele ser habitual, ya que este tipo de cultivos suele rodearse de núcleos rurales relativamente poblados.

Asociado al problema de las comunicaciones suele presentarse el de la alimentación de las estaciones remotas. Las soluciones más comunes se basan en aprovechar la costosa obra de ingeniería civil necesaria para la distribución de las tuberías de agua de riego para distribuir también las redes de alimentación y de comunicaciones [i] y [ii]. Evidentemente, esta solución no es tan aplicable a zonas de riego ya implantadas, pero no automatizadas. Por otra parte, estudios recientes [iii] han demostrado que dicha técnica, si no se realiza adecuadamente, puede ser fuente de continuos problemas. En dicho trabajo se recogen los problemas

presentes en algunas zonas de regadío de la Comunidad Autónoma Andaluza que usan dicha técnica. Cuando surge algún problema con las tuberías, es muy probable la ruptura de las redes de alimentación y/o comunicaciones dado que es necesario usar maquinaria pesada para reparar la red hídrica. A ello hay que añadir que, con relativa frecuencia, la orografía puede dificultar, y por tanto encarecer, la distribución de las redes no hídricas. La solución que proponemos también usa la tecnología GSM para las comunicaciones. Es una solución que ya ha sido probada con éxito anteriormente.

La principal aportación de este trabajo es la forma de obtener la energía necesaria para el funcionamiento de los equipos electrónicos. Una de las ventajas de la comunicación inalámbrica es el ahorro de costes que se produce al no tener que distribuir la red de comunicaciones. Sin embargo, sigue siendo necesario distribuir la energía. Para eliminar totalmente la necesidad de cables, las soluciones más lógicas son el almacenamiento local de la energía necesaria para una campaña del cultivo en cuestión en un sistema de baterías, y la obtención, también de forma local, de dicha energía.

La estructura de este trabajo es como sigue: en el epígrafe II se enumeran los objetivos que pretendíamos conseguir al empezar nuestro trabajo.

En el epígrafe III se discuten las distintas alternativas para la alimentación local de las estaciones y se presenta la solución aportada, que se basa en aprovechar la energía del propio agua de riego.

En el epígrafe IV se presentan los requerimientos de la estación remota, fundamentalmente producidos por la necesidad de la reducción del consumo.

En el epígrafe V se muestran las conclusiones del trabajo. Se enumeran los resultados obtenidos con la construcción y puesta en funcionamiento de un prototipo y se enuncian las líneas de continuación del trabajo.

II. OBJETIVOS

La idea de este trabajo se forja durante la realización de un estudio de nuestro grupo de trabajo para una importante red de regadíos de España. Dicho trabajo consistía en una auditoría sobre la red de regadíos ya instalada. Se pretendían estudiar los problemas existentes y elaborar una serie de

recomendaciones para solucionar dichos problemas y evitarlos en los futuros proyectos.

Como se verá en siguiente epígrafe, la solución más habitual consiste en la utilización de un panel solar y un sistema de baterías para la generación y almacenamiento de la energía. Sin embargo, los problemas achacables a esta solución son la necesidad de un pequeño mantenimiento y la posibilidad de sufrir robos o actos vandálicos, puesto que son elementos claramente visibles en una plantación.

Con estos problemas en mente, se planteó como solución la obtención de la alimentación de la electrónica a partir de la energía del agua. Los objetivos que se marcaron fueron:

- Demostrar que se podía obtener la energía necesaria para el funcionamiento de los equipos electrónicos del propio agua de riego.
- Demostrar que se podía reducir el consumo de la estación remota suponiendo que la cantidad de energía fuera muy pequeña.
- Encontrar un mecanismo de gestión del consumo de los sistemas de comunicaciones que permitiera reducir su consumo medio drásticamente sin afectar seriamente la operatividad y disponibilidad del sistema.

III. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

A. Revisión de las soluciones habituales

Las soluciones de alimentación para las estaciones remotas de riego se pueden clasificar en tres grupos:

- Distribución de la energía mediante una red cableada.
- Obtención de la energía de forma local, usando algún tipo de fuente de energía limpia y renovable.
- Almacenamiento de la energía para un periodo más o menos largo en un sistema de baterías. Típicamente, el periodo debería coincidir con las campañas agrícolas de forma que su recarga se realice durante las fases en las que no se necesite el riego (p.e. después de la siega).

La primera solución ha sido ampliamente explorada y existen multitud de sistemas comerciales disponibles, normalmente propietarios [i] y [ii]. Algunos de ellos usan el mismo cableado para transportar la energía de alimentación y las comunicaciones. Es un sistema fiable cuyo principal inconveniente es el elevado coste de instalación, dado que es necesario cubrir extensas zonas de terreno y quizás evitar accidentes orográficos como riachuelos, lomas, cañones, etc. Además, puesto que dichas zonas son intensamente trabajadas por las labores de cultivo, es necesario realizar la instalación a cierta profundidad. Para optimizar costes lo habitual es aprovechar la instalación de las tuberías de riego para trazar el sistema de automatización. No obstante, este enfoque presenta el problema de la interacción de las dos redes (hídrica y de automatización) durante las labores de mantenimiento: si hay que sustituir una tubería, es frecuente que se rompa la red de comunicaciones durante la reparación, dado que se usa maquinaria pesada. Para evitar esto es necesario realizar la instalación con ciertas precauciones que encarecen su coste.

Además, esta solución no suele justificarse, debido al coste, para zonas de regadío preexistentes que se desean automatizar con posterioridad.

La segunda solución también es relativamente habitual. Los sistemas actuales usan como fuente principal la solar, aunque existen experimentos eólicos. Se trata de una pequeña instalación por hidrante (punto de riego en el que se instale una estación remota) compuesta de un panel solar, un cargador y una batería. El dimensionamiento y la instalación de los componentes los pueden realizar cualquier empresa del sector, fácilmente accesibles, sobre todo en las zonas rurales.

Las ventajas de esta solución son el uso de una energía limpia e inagotable y unos costes de instalación menores a la solución cableada. Como inconvenientes, podemos citar la necesidad de un pequeño mantenimiento (para las baterías y limpieza del panel solar, que pierde rendimiento con el polvo depositado) y la susceptibilidad a sufrir robos y/o actos vandálicos. Podemos reducir estos últimos instalando los paneles a cierta altura (típicamente a 3 metros), a costa de un mayor coste de instalación. La solución eólica es más rara, pero presenta básicamente las mismas ventajas e inconvenientes que la solar.

Finalmente, la última solución es la más barata y discreta, puesto que la batería puede ser instalada en una arqueta subterránea junto con las conexiones de agua y el resto de la electrónica. Si la instalación no requiere comunicaciones con una central, por ejemplo, para leer los contadores de agua o para actuar sobre las válvulas de riego, la dimensión de las baterías puede ser mínima. Existen soluciones comerciales [iv] que incluyen contadores alimentados por pilas con autonomías de varios años. Sin embargo, si se necesita comunicación, almacenar la energía necesaria para un módem GSM y la estación remota durante una campaña completa puede necesitar un volumen excesivo, así como dificultar el traslado de las baterías para su recarga.

B. Una solución basada en turbina hidráulica

Como ya se ha comentado en el epígrafe II, nuestro trabajo pretendía explorar una solución hasta ahora inédita a este nivel (evidentemente, la fuerza del agua se ha utilizado para generar energía desde tiempos remotos).

Las ventajas de esta solución son su discreción (ya que se instala en la misma tubería de riego, antes del contador de consumo), bajo precio de instalación (es un módulo equivalente a cualquier contador, por lo que puede ser instalado por personal sin especial preparación) y el ser una fuente de energía limpia e inagotable. Los inconvenientes tienen que ver con ausencia de turbinas comerciales de pequeño tamaño y con la reducida energía que es esperable obtener si no se quiere cargar la línea hídrica de forma sensible.

Para construir un prototipo que nos permitiera comprobar la viabilidad de la solución fue necesario construir también la turbina. Se decidió hacer el prototipo para una sección de tubería doméstica por razones de conveniencia: se puede trabajar con la instalación del laboratorio y supone un caso

más exigente que una sección de regadío, mucho mayor y con más presión, por lo que es de esperar más energía. Para ello partimos de un contador doméstico de agua, convenientemente modificado para eliminar las ruedas de presentación del consumo y permitir la conexión de un generador eléctrico. En la Fig. 1 se puede ver un esquema de la miniturbina. El prototipo final se muestra en la Fig. 2.

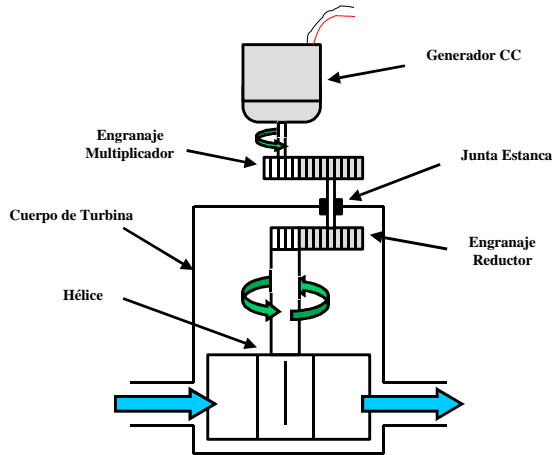


Fig. 1. Esquema de la miniturbina. Un mecanismo reductor interno reduce la velocidad angular para aumentar el par cuando el eje sale de la zona inundada. Finalmente, un engranaje eleva la velocidad angular a la óptima de trabajo del generador eléctrico.

El generador eléctrico elegido es un motor de continua extraído de un juguete. Se eligió por disponer un par muy pequeño y unas curvas V/rpm muy parecidas actuando como motor y como generador.

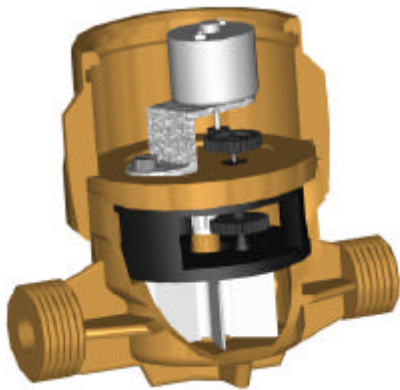


Fig. 2. Prototipo final de miniturbina hidráulica.

El trabajo sobre la miniturbina ha incluido las siguientes tareas:

- Obtención de las curvas V/rpm tanto trabajando en el modo motor como generador para diversos motores de continua.
- Obtención de las potencias de salida para distintas configuraciones de carga del generador, así como la determinación de las condiciones óptimas de trabajo (carga y velocidad del rotor).

- Cálculo de los factores de desmultiplicación y multiplicación de los engranajes para minimizar el rozamiento en la junta estanca.

Los experimentos realizados sobre el banco de trabajo con el prototipo conectado a una tubería con una presión de 3 Kg/cm³ muestran que, para una tasa de riego de 4 horas diarias, el régimen de carga medio de la batería en un día es de 11'67 mWh.

IV. ESTACIÓN REMOTA

La estación remota se encontrará situada, por lo general, dentro de la arqueta del hidrante, al que llega la acometida general de la red de riego. El hidrante dispone de una electroválvula de entrada que permite controlar el consumo total, así como un contador de consumo. Después, la tubería se bifurca en un número de líneas secundarias (típicamente 4) para distintas zonas de riego. Cada una de ellas dispone de una electroválvula de control de zona y se puede dotar de un contador secundario. Adicionalmente, en la entrada puede instalarse un sensor de presión estándar con salida en bucle de corriente 4-20 mA. Finalmente, la tapa de la arqueta puede asegurarse con un sensor de intrusismo (ver Fig. 3).

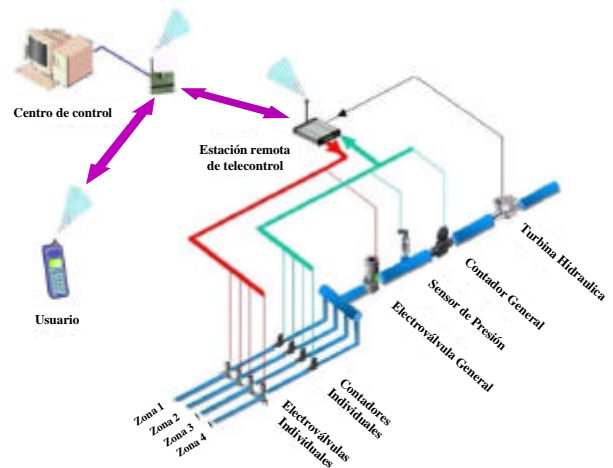


Fig. 3. Esquema general del hidrante. La comunicación se realiza sólo con el Centro de Control. Nótese que se da servicio a cuatro puntos de riego. Es posible monitorizar y controlar el consumo en cada uno de ellos y de la tubería general. Además se supervisa la presión de la red y la presencia de algún intruso en la instalación.

La misión de la estación remota es controlar cada uno de los elementos del hidrante y permanecer conectada con la central de control para comunicar datos y alarmas y atender las órdenes configuración o de maniobra de las distintas electroválvulas.

Prácticamente cualquier dispositivo de propósito específico de los presentes en el mercado o incluso cualquier autómat programable satisface estas necesidades. Sin embargo, en esta aplicación existe un requerimiento fundamental que invalida los dispositivos existentes en la actualidad: la energía disponible es muy limitada debido a la fuente empleada. Si a

esto añadimos que el módem GSM necesita mucha energía es previsible que quede poca para el controlador. Esto nos ha llevado a diseñar una estación con unos requisitos de bajo consumo muy fuertes.

Las funciones que realiza son:

- Control de la válvula principal del hidrante. Básicamente el control puede ser de dos tipos: riego a la demanda y prepago. En el primero, el agua de riego siempre está disponible y la central factura por lo consumido. En el segundo, es necesario comprar determinada cantidad de agua para que la central abra la electroválvula; cuando el saldo se agota, se cierra de nuevo.
- Control preciso del riego. Para ello temporizará la apertura y cierre de las distintas electroválvulas secundarias en función de los horarios establecidos por el usuario. Dichos horarios son almacenados en una memoria de programa y ejecutados sin conexión a la central.
- Contabilización del consumo de cada sección de forma horaria. Para ello recoge los pulsos proporcionados por los contadores (primario y secundarios), los totaliza y almacena en memoria no volátil para su posterior transmisión a la central y tratamiento.
- Medida de la presión de la red de forma periódica. Se comprueba que se encuentre dentro de unos límites y envía alarmas a la central en caso necesario. Los límites de alarma son programables.
- Control del sensor de intrusismo. En caso de producirse, este evento es anotado en memoria y comunicado inmediatamente a la central.
- Comunicación con el centro de control. Dicha comunicación se realiza mediante un módem GSM. Existen dos tipos de conexiones: llamada de datos y mensajes de texto. El primer modo se usa para controlar cualquier aspecto de la estación, así como para descargar los datos horarios de consumo. Los mensajes de texto están especialmente diseñados para reducir el consumo en la notificación de alarmas por parte de la estación y el envío de comandos por parte de la central.

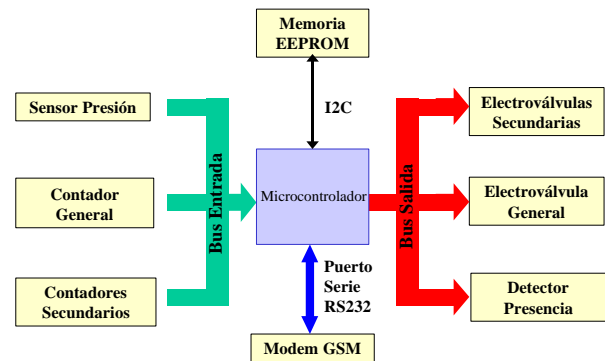


Fig. 4. Esquema general de la estación remota. El corazón del sistema es un microcontrolador al que se conecta el resto de elementos del sistema. El principal criterio de diseño ha sido la reducción del consumo medio y de pico.

La Fig. 4 muestra el esquema general del controlador de la estación remota. Para conseguir unas cifras de consumo muy bajas se ha basado el diseño en un microcontrolador de Texas Instruments, el MSP430 [v]. Se trata de un microcontrolador RISC de 16 bits con consumos del orden de 250 μ A por MIPS trabajando con una tensión de alimentación de 2'2V, 1'3 μ A en estado de reposo con los periféricos activos y tiempo de recuperación de dicho estado de tan sólo 6 μ s (tres órdenes de magnitud menos que lo habitual en otros micros). Estas características permiten mantener el dispositivo dormido el mayor tiempo posible, reduciendo drásticamente el consumo.

Sin embargo, determinadas secciones del sistema presentan consumos muy elevados. Por ejemplo, el sensor de presión, por la propia forma de transmisión de la medida presenta un consumo entre 4 y 20 mA. El módem GSM por su parte puede consumir hasta 100 mA durante los ciclos de búsqueda de red. La estrategia empleada ha sido la de reducir el consumo medio manteniendo los dispositivos encendidos sólo el tiempo necesario. En el caso del sensor de presión esta eventualidad no es un problema, puesto que esta variable no se prevé que cambie rápidamente. En cualquier caso, en caso de rotura de la tubería, y caída de la presión por tanto, el tiempo de respuesta de los técnicos de mantenimiento es el factor determinante. En el caso del módem GSM, mantenerlo apagado supone perder la conexión con el centro de control. Los inconvenientes de esta medida se minimizan si se tiene en cuenta que:

- Las alarmas las produce la remota, por lo que se puede encender el módem en cualquier momento, mandar la alarma como mensaje de texto y apagar.
- Los mensajes de texto del centro de control se mantienen en el servidor de teléfonos móviles hasta que el terminal se conecta, por lo que no se pierden. Sólo sufren un retraso.
- Las llamadas de datos son originadas siempre por el centro de control y requieren que el módem esté

encendido. No obstante, en la mayor parte de las aplicaciones no es necesario este tipo de llamadas diariamente, ya que las maniobras de las electroválvulas secundarias se pueden programar y ejecutarse *offline*.

Finalmente, las electroválvulas son una fuente importante de consumo. La reducción se ha llevado a cabo mediante el empleo de dispositivos bistables, que sólo consumen durante las maniobras.

Nuestros cálculos muestran un consumo medio típico de 0'37 mWh para el sistema completo excepto el módem GSM, es decir, un 3'17 % de la energía generada en cuatro horas de riego. Esto nos deja unos 7'8 mWh para el módem si suponemos que la eficiencia del sistema de carga sea del 70%. Con estos datos y suponiendo un acumulador de 750 mAh, la autonomía del sistema excluido el módem es de 201 días. Nuestros estudios incluyen datos del número de minutos que puede estar encendido el módem en función del número de conexiones diarias (p.e., 160 min. para dos encendidos, 80 para cuatro o 12 min. para 24 conexiones). Todos estos parámetros se pueden configurar de forma remota.

Una pieza clave del diseño ha sido trabajar, para cada sección de la electrónica con la menor tensión posible. En la Fig. 5 se muestra la fuente de alimentación, compuesta por tres bloques: generación, almacenamiento y conversión. La batería está compuesta por dos células de NiCd de 750 mAh de tamaño estándar AA, por lo que la tensión nominal es de 2'4 V. Tanto las revoluciones del generador como el cargador se han optimizado para esta tensión de batería. Internamente se generan tensiones de 3 y 12V para las distintas secciones del sistema.

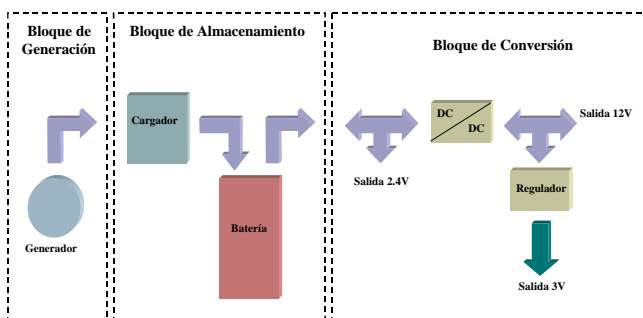


Fig. 5. Esquema de la fuente de alimentación. Se ha elegido una tensión de baterías baja para facilitar la carga desde la miniturbina.

V. CONCLUSIONES

Nuestro trabajo demuestra que la alimentación de las estaciones remotas de telecontrol de hidrantes aprovechando la energía del agua de riego es viable. Se ha montado un prototipo de miniturbina usando materiales disponibles en el

mercado y modificándolos convenientemente. Es evidente que con un diseño específico los rendimientos obtenidos serán netamente superiores. Si a ello añadimos que las tuberías de regadío son mayores y con mayor presión, es de esperar un incremento en la energía disponible que se traducirá en una mayor autonomía en caso de épocas sin riego y una mayor disponibilidad de los servicios de comunicaciones.

Las líneas de continuación de este trabajo pasan por construir un prototipo de tamaño real para comprobar y cuantificar las mejoras esperadas, así como comparar los costes frente a soluciones más comunes.

Un requerimiento fundamental de esta solución es la disponibilidad de acceso a la red GSM de alguna compañía. Si bien es cierto que una parte muy importante de las zonas de regadío cuentan con este requisito, también es cierto que existen zonas no cubiertas. En este sentido, estamos trabajando en la ampliación del diseño para incluir estas zonas mediante el uso de sistemas de radio de baja potencia que no necesitan licencia del organismo competente en telecomunicaciones y, por tanto, su instalación es menos costosa.

REFERENCIAS

- [1] Sistemas de riego REGABER. <http://www.regaber.com/regaber/regabern.htm>
- [2] Ingeniería y Control Remoto ICR, S.A. <http://www.icr-sa.com>
- [3] A. Menéndez et al. "Sistema de automatismos para zonas regables". Servicio de Publicaciones de la Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía (pendiente de publicar en octubre de 2003).
- [4] Contadores inteligentes de agua CONTAZARA. <http://www.contazara.com>
- [5] MSP430 Family. Mixed Signal Microcontrollers Application Report. 1998, Texas Instruments. Document number SLAAE10C. <http://www.ti.com>