



# Medidas de Ahorro Energético

Gestión  
Eficiente en  
Regadíos



**Grupo Tragsa**  
Garantía Profesional. Servicio Público

## OPTIREG

“Gestión Eficiente en Regadíos (OPTIREG)” es un proyecto de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) llevado a cabo por el **Grupo Tragsa** bajo la coordinación de la Subdirección de I+D+i, que aporta soluciones a través de una gestión integral de las Zonas Regables.

La Gestión Eficiente en Regadíos (OPTIREG) engloba los criterios básicos de eficiencia hídrica y eficiencia energética, y la implantación de innovaciones y nuevas tecnologías para conseguir la reducción de costes en el regadío.



**Grupo Tragsa**  
Garantía Profesional. Servicio Público



Subdirección de Investigación, Desarrollo e Innovación

**Autor:** Empresa de Transformación Agraria, S.A.

**Edita:** Empresa de Transformación Agraria, S.A.

Sede social

C/ Maldonado, 58

28006 Madrid

### **Coordinadores:**

Sergio Colom Delgado (Ingeniero Agrónomo, Técnico de la Gerencia de Ingeniería y Edificación de Tragsatec)

Diego Naranjo Hernández (Ingeniero Agrónomo, Responsable de Actuaciones y Proyectos de la Gerencia de Ingeniería y Edificación de Tragsatec)

### **Colaboradores:**

M<sup>a</sup> Sofía Iglesias Gómez (Ingeniero Agrónomo, Jefe de Grupo de Actuaciones y Proyectos de la Subdirección de I+D+i del Grupo Tragsa)

Luis Gerardo González Muñoz (Ingeniero Agrónomo, Técnico de Obra de Tragsa)

Juan Carlos Blanco Redondo (Ingeniero Agrónomo, Responsable de Actuaciones y Proyectos de la Gerencia de Ingeniería y Edificación de Tragsatec)

Madrid, enero 2016





# Índice

1. Introducción .....	3
2. Grupo Tragsa: innovación para el sector del riego .....	4
3. El manejo de las instalaciones de parcela .....	6
4. La reducción del consumo de agua .....	13
5. La eficiencia en las instalaciones de la red colectiva.....	16
6. La regulación de la estación de bombeo .....	19
7. La eficiencia energética de los equipos de bombeo .....	26
8. La toma de datos y mediciones en la estación de bombeo y la red.....	29
9. La contratación del suministro eléctrico .....	32
10. La eficiencia en las operaciones de gestión .....	36
11. La formación, la concienciación y la información .....	41
12. Grupo Tragsa: gestión eficiente en regadíos.....	44

# Gestión eficiente en Regadíos



Grupo Tragsa  
Gobierno Profesional Servicio Público

## OPTIREG

**Bloques de Trabajo:** Tres bloques de trabajo en paralelo para conseguir un objetivo común:

WP1: Aplicación de Energías Renovables al Regadío. Compra-Venta energética

WP2: Eficiencia Hídrica

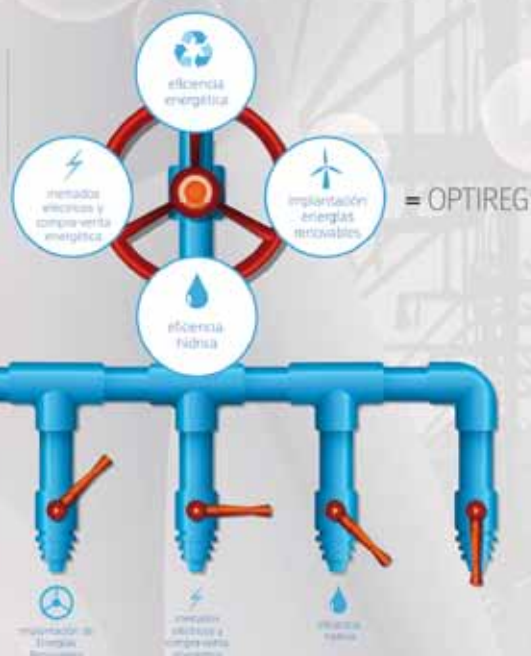
WP3: Eficiencia Energética

I+D+i Apoya y coordina

01  
grupo Tragsa  
apostando por el  
Regadío



02  
grupo Tragsa  
apostando por el  
Regadío  
OPTIREG: Bloques  
de trabajo



03  
Objetivo

Nuevas posibilidades de ahorro a partir de una buena gestión en toda la cadena de valor realizada por el GRUPO TRAGSA.



04  
¿Cómo ser más competitivos?  
líneas de acción:

- Disminución del precio unitario de la energía.
- Adquisición de la electricidad sin intermediarios.
- Optimización de la cantidad de agua aportada a los cultivos.
- Rentabilización de los sistemas de telecontrol.
- Realización de un correcto mantenimiento preventivo de las instalaciones.

GESTIÓN INTELIGENTE DE ZONAS REGABLES

Proyecto de I+D+i OPTIREG.

# 1. Introducción

El Grupo Tragsa, empresa especializada en la gestión del sector de regadíos que cuenta con una larga trayectoria profesional tanto por las actividades y obras desarrolladas y ejecutadas en todo el territorio nacional como por su labor en la redacción y puesta en marcha de proyectos, y las actuaciones de gestión y mantenimiento de varias zonas y áreas de regadío, ha tomado conciencia sobre la imperiosa necesidad de analizar y mejorar los modelos de explotación de las infraestructuras de regadío para alcanzar su máxima optimización apostando con firmeza por una oferta de soluciones ante las diversas realidades existentes en las Comunidades de Regantes, mediante la aplicación e incorporación de innovaciones tecnológicas y de investigación a través del desarrollo del proyecto de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) "Gestión eficiente en Regadíos" (OPTIREG).

El proyecto **OPTIREG** se establece sobre una serie de bloques programados e interrelacionados entre sí, que son: **implantación de energías renovables, mercados eléctricos y compra-venta de energía, eficiencia hídrica y eficiencia energética**, orientadas al núcleo objetivo principal del mismo, que consiste en optimizar la eficiencia hídrica y energética de las zonas regables para alcanzar su viabilidad económica.

Dentro del grupo de trabajo "**Eficiencia Energética**", el objetivo principal del bloque es obtener una visión global de la gestión de las Comunidades de Regantes como consumidores de energía, detectando sus disfuncionalidades para aplicar diversas estrategias prácticas orientadas a mejorar la eficiencia energética, haciendo uso de la tecnología disponible y de la realidad específica de cada Comunidad de Regantes.

Con ello, una de las actividades dentro del grupo de trabajo "Eficiencia Energética" ha consistido en disponer de un **documento único que incluya la recopilación de toda una batería de medidas y acciones orientadas al ahorro y eficiencia energética en el regadío** (principalmente para reducir la factura eléctrica y el consumo de energía total en la campaña) si se aplican de manera adecuada. No pretende ser un catálogo exhaustivo, sino una exposición esclarecedora de todas las medidas que se han ido encontrando en la distinta bibliografía, así como las que son producto de la propia experiencia que se ha adquirido en base al proyecto OPTIREG.

El coleccionable de medidas de eficiencia es de interés práctico para todos los usuarios y principales actores de la explotación de la instalación (gestores, regantes, guardas, operarios, administrativos...) que tienen su cuota de responsabilidad en la eficiencia energética final del mismo. Algunas de las medidas precisan de esfuerzos económicos, de investigación y de innovación para que puedan ser puestas en marcha en aplicaciones a gran escala, pero en numerosas ocasiones serán rentables con nulo o bajo coste de implementación, consiguiendo significativos ahorros tanto de potencia como de energía sin comprometer la calidad del servicio.

El trabajo recopilatorio de medidas que se recogen en la presente publicación se ha dividido en varios bloques interdependientes entre sí, pero con suficiente estructura individual en cada uno de los mismos: **equipamiento en instalaciones de parcela; consumo de agua; equipamiento en instalaciones colectivas; regulación de la estación de bombeo; equipos de bombeo; toma de datos y mediciones; contratación del suministro eléctrico; operaciones de gestión; y formación, concienciación e información.**

## 2. Grupo Tragsa: innovación para el sector del riego

Una de las características y señales de identidad que definen al Grupo Tragsa es su apuesta por la innovación.

El Grupo Tragsa tiene como función prioritaria el desarrollo de soluciones pioneras que permitan al Grupo encontrarse entre las empresas más a la vanguardia del conocimiento y la tecnología en sus principales campos de actuación y, en este sentido, una de las líneas de actuación en I+D+i estratégicas es la Tecnología de Regadío.

Tragsa es claramente consciente de que el incremento del consumo energético de las zonas regables y el aumento de los precios de la electricidad, son los principales factores que ponen en peligro la viabilidad económica del sector. Por ello, la empresa desarrolla permanentemente proyectos de I+D+i que tienen como objetivo la búsqueda de soluciones a los problemas existentes en las zonas regables.

En consecuencia, la gran experiencia que avala a la empresa, considera la eficiencia en regadíos, no sólo como una cuestión de ahorro de agua, sino también tomando en cuenta el sumando energía, especialmente en un momento como el actual.

**Grupo Tragsa: existe margen de mejora en la eficiencia energética trabajando en varios aspectos, como optimizar la potencia a contratar, ajuste de la regulación de los bombeos, reorganización de las peticiones y turnos de riego mediante simulación hidráulica del sistema...**

La distribución nacional de la compañía (delegaciones en todas las provincias de las 17 comunidades autónomas españolas) junto a la larga y estrecha relación de colaboración que mantiene con las Comunidades de Regantes, permite que el Grupo Tragsa conozca la problemática del sector del riego de primera mano, trabajando conjuntamente con los regantes en la búsqueda de soluciones eficaces y económicas a los problemas del sector, tanto desde el punto de vista de ejecución como en el mantenimiento, explotación y auditoría de las mismas.

**El regadío es un sector clave en nuestra economía y su futuro pasa por la búsqueda de soluciones eficaces y económicas para solventar los problemas del sector.**

El Grupo Tragsa, a lo largo de sus más de 30 años de experiencia, se ha mantenido presente en muchas de las obras de transformación y modernización de regadíos como una de sus señas principales de actividad. El Grupo es consciente de que en España el regadío tiene un papel clave en la economía española, siendo un factor determinante para el equilibrio de la balanza comercial agraria. Por este motivo, tiene puesto un gran interés por el desarrollo e implantación de soluciones que mejoren el rendimiento de los sistemas de riego y la eficiencia energética de las instalaciones.



**Grupo Tragsa: talento, eficiencia y efectividad para mejorar la competitividad del regadío.**

### 3. El manejo de las instalaciones de parcela

A continuación se proponen una serie de medidas recomendadas para su aplicación en el manejo de las instalaciones de riego a nivel de parcela con el objetivo de mejorar la eficiencia del uso del agua y de la energía.

#### Reducción de requisitos de presión al inicio de la instalación

- | Uso de **emisores de baja presión** compatible con el sistema de riego adoptado, la topografía de la parcela, el cultivo a regar, el marco de plantación y la pluviometría deseada. Aprovechar las novedades tecnológicas en emisores de baja presión.
- | Migración del sistema de aplicación del riego por aspersión a riego por goteo (superficial o enterrado) en aquellas situaciones que estén claramente justificadas considerando todas las perspectivas: hídricas, energéticas, agronómicas, facilidad de manejo, sistema de explotación de los cultivos y labores a nivel de finca, mantenimiento de las instalaciones, inversión, comodidad, capacidades...
- | Implantación de una tarifa vinculada a la presión necesaria en el sistema de riego de la parcela (además del consumo real de agua), aplicando algún tipo de bonificación progresiva si el regante es capaz de regar eficientemente sus parcelas con una presión menor a la garantizada por la red, buscando reducir la presión de consigna en el bombeo de manera general para todos los usuarios.

#### Reducción de las pérdidas de carga en la instalación

- | Seguimiento de las variables hidráulicas de caudal y presión a lo largo de toda la campaña. Hay que tener datos fehacientes y **controlar el caudal y la presión** que precisa cada sector, subunidad y postura de riego, y asegurarse que los valores suministrados son los requeridos al proyecto de amueblamiento, o en su

defecto aproximada a la recomendada por el fabricante. Es importante que existan en la instalación varios puntos para insertar manómetros.

- | Modelización hidráulica de la instalación en parcela con programa informático específico para realizar análisis y simulación de cara a detectar disfunciones, proponer mejoras en la sectorización, cambio de requisitos de presión, caudal, etcétera.
- | Instalación de tuberías paralelas a las principales para dividir el caudal trasgado si se constatan pérdidas de carga en el transporte no asumibles, para que exista una buena uniformidad en las presiones. Posibilidad de mallar la instalación.
- | El filtrado produce considerables pérdidas de carga. Realizar **limpiezas periódicas en los filtros**.
- | Verificar el correcto acoplamiento entre la tubería del amueblamiento y el hidrante o la toma de parcela a lo largo de toda la campaña de riegos.



Migración de riego por aspersión a riego localizado en cultivos extensivos.



## Minimizar las pérdidas de agua durante la aplicación del riego

- | Cuando se aplica un riego no toda el agua queda almacenada en la zona del suelo explorada por las raíces, sino que parte se pierde por diversos factores, entre los cuales cabe destacar: pérdidas por falta de uniformidad, por filtración profunda, por escorrentía superficial, por evaporación y arrastre del viento.
- | Se ha de tratar de minimizar todas estas pérdidas, tanto en el diseño de la instalación como en el manejo, maximizando la eficiencia y uniformidad del riego en parcela.
  - | Las pérdidas por percolación profunda y escorrentía superficial dependen del tipo de suelo y de las dosis de riego aplicadas. Para minimizar estas pérdidas se han de **adaptar las dosis de riego** en función del tipo de suelo existente (realizar análisis de suelos) y de la calidad del agua (realizar análisis de agua). Seguimiento y control de ambos parámetros.
  - | Aplicar la fracción de lavado ajustada a las características intrínsecas de la calidad del agua y del suelo de la zona regable y a las particularidades del sistema de riego en parcela para evitar procesos de salinización/sodificación.
  - | Las labores culturales practicadas a lo largo de la campaña en frutales (podas, tratamientos, recolección...) pueden desplazar los laterales del riego por goteo, alterando la posición de los goteros respecto al bulbo húmedo formado. Repasar el alineamiento de los laterales para recuperar la posición inicial.
  - | En coberturas de riego por aspersión vigilar que los portaaspersores no pierdan la verticalidad a lo largo de la campaña. En sistemas móviles y semifijos utilizar tuberías con estabilizadores, que impidan que los tubos portaaspersores se inclinen.
  - | Sin tener en cuenta las condiciones climáticas en cada riego, el coeficiente de uniformidad (CU) disminuye a lo largo del tiempo. Vigilar y corregir las principales condiciones que definen la uniformidad cuando se aplica un riego: presión y caudal a la entrada del sector (variaciones de las condiciones del punto de

regulación), fugas en laterales y elementos singulares, obstrucciones en los emisores, envejecimiento de los materiales, alineamiento horizontal y vertical de los emisores, calidad del agua de riego.

## Automatización del riego

- | Tecnificar las unidades y sectores de riego con sistemas automáticos de control para el manejo del riego en función del estado hídrico del suelo (tensiómetros, bloques de yeso, sondas TDR, sondas FDR, sonda de neutrones, conductividad eléctrica...), o en función del estado hídrico de la planta (dendrómetros, sensor de flujo de savia, temperatura de la planta...).
- | Programadores para **facilitar la operación del riego** (apertura o cierre automático de válvulas para el paso de agua a las distintas unidades de riego), permitiendo definir la duración de los riegos por tiempo o volumen y la secuencia de los sectores a ser regados.
- | La elección del nivel de automatización idóneo para cada caso debe hacerse siguiendo criterios técnico-económicos según las características de la explotación y las preferencias del agricultor en que deberá valorar el ahorro de su tiempo, la comodidad y facilidad en el manejo de la instalación y la seguridad en tiempos de riego que dicha automatización le proporcionará.



Automatización del riego con programador de última generación.

### Incorporar tratamientos con el riego

- | Estudiar la posibilidad de realizar la fertirrigación (fertilizantes) y el quimirriego (fitosanitarios, herbicidas) con la aplicación del riego, tanto a nivel particular (a la salida del hidrante) como de forma colectiva (instalaciones al inicio de la red) en función del tipo de gestión y del tipo de cultivo.
- | Válido tanto para sistemas por aspersión como por goteo y para la mayoría de los cultivos.
- | Tomar la decisión para cada instalación basada en un estudio que recoja los aspectos y requerimientos agronómicos, energéticos, económicos, equipamiento, inversión, comodidad, tiempo disponible y grado de automatización.

### Calidad de los materiales

- | Cualquier material o elemento que sea necesario sustituir, renovar o incorporar debe de ser de buena calidad y estar debidamente **homologado y certificado** bajo normas UNE, ISO... exigiendo al instalador, fabricante o comercial antes de la compra la información técnica y documentación pertinente que lo avale.
- | Constantemente en el mercado aparecen productos que, aunque sean en apariencia similares, tienen calidades bien diferentes. Desechar aquellos componentes y productos de calidad desconocida.



Supervisión del proyecto y obra del amueblamiento en parcela.

## Ejecución de la instalación

- | Las obras en parcela que se vayan a realizar deben estar bien ejecutadas por personal cualificado y contando con una supervisión por parte de un técnico competente.
- | Un buen montaje de la instalación contribuye a conseguir una larga vida útil de la misma.
- | Las instalaciones enterradas, los programadores, etcétera, precisan de un montaje cuidado y ajustado al proyecto, no permitiendo que se realice la obra con el criterio fundamentado en lo más "cómodo" o "conveniente" para el instalador en el momento de realizar un trabajo, pudiendo no corresponderse con lo más correcto técnicamente.
- | Antes de la entrega de una nueva obra en parcela **exigir** una evaluación de la instalación para tener una idea de la uniformidad de reparto de agua que consigue.

## Evaluación de la instalación

- | Verificar las condiciones de funcionamiento de las instalaciones y equipamiento de riego en parcela realizando evaluaciones en campo según la metodología normalizada (UNE, ISO...). Con la evaluación de un sistema de riego se pretende conseguir los objetivos siguientes:
  - | Determinar la uniformidad en la distribución del agua de riego.
  - | Comprobar el estado de los componentes de la instalación y si el manejo es adecuado.
  - | Analizar los criterios seguidos por el usuario del riego para determinar la lámina de agua a aplicar.
  - | Detectar y analizar los problemas de funcionamiento de la instalación y plantear soluciones sencillas y económicas corrigiendo a tiempo los problemas de falta de uniformidad que puedan sobrevenir en las instalaciones.
- | Uso de programas para la evaluación de la uniformidad del riego, la simulación hidráulica de emisores y sistemas de información geográfica para realizar mapas de valores de uniformidad.



Sistema de riego por aspersión. Cobertura total aérea.

## Manejo de las instalaciones de riego por aspersión

- | Los principales factores que intervienen en el proceso de aplicación del agua de riego son la presión y la pluviosidad como factores controlables, y el viento como factor poco controlable. Conocer y saber manejar estos tres factores, así como realizar una correcta utilización del sistema de riego por parte del regante, ayudarán al objetivo perseguido que es el ahorro de agua y energía.
- | El viento empeora la aplicación del agua por los aspersores y disminuye con ello la uniformidad de aplicación:
  - | En el caso de riego con pivotes y laterales autodesplazables, el viento tiene escasa influencia, pero su efecto es importante en el riego con cañones y también en el riego estacionario.
  - | En zonas de fuertes vientos, reducir marcos de riego si la cobertura es aérea y prever ciertas horas del día en las que no se podrá regar.
  - | Dado que normalmente existe menos viento durante la noche, aplicar riegos nocturnos para **minimizar las pérdidas por arrastre y evaporación**, a la vez que se aprovechan las franjas horarias más baratas con respecto al precio de la energía. Si la red no permite elegir la hora de riego, realizar una programación del riego alternada entre el día y la noche. Una vez se riega de día y el siguiente día se riega de noche.
  - | Cuando la velocidad del viento es mayor que 2 m/s, la distribución del agua comenzará a verse afectada, por lo que se hace necesario tomar algunas medidas: regar durante la noche, la presión de trabajo deberá ser algo inferior a la recomendada por el fabricante, reducir el marco de riego cuando sea posible, bajar la altura de los aspersores con tubos portaaspersores más cortos o, en el caso de los pivots y rangers, modificarlos si es posible, para situar los emisores por debajo del ala de riego.
- | Diseñar los sistemas con pluviosidades bajas (6-8 mm/h) para que, además de evitar problemas de encharcamiento y escorrentía, sea mayor el tiempo de riego. Si se producen encharcamientos o escorrentías cambiar las

boquillas. En las máquinas de riego (cañones, pivotes o laterales de avance frontal) el regante debe conocer las velocidades de avance de la máquina, el sector circular mojado o la separación entre posiciones de riego en el caso de cañones para las situaciones en que no se produzca escorrentía.

- | En relación a la presión para sistemas de cobertura:
  - | Evitar presiones en boquilla superiores a 4 kg/cm<sup>2</sup>, ya que, aparte del mayor coste económico, produce mayor proporción de gota pequeña que son fácilmente arrastradas por el viento y hace disminuir rápidamente la uniformidad de riego, aparte de originar mayores pérdidas por evaporación.
  - | Usando las mismas boquillas y reduciendo la presión, se puede obtener una buena eficiencia de aplicación con más horas de riego y menos sectores.
  - | Se puede aumentar el diámetro de boquilla para compensar la disminución de la presión. En estos casos puede ser interesante usar marcos más estrechos, lo que puede aumentar el coste de instalación.
- | En relación a la presión para sistemas y máquinas de riego autodesplazables móviles:
  - | El correcto diseño de la carta de emisores es el principal elemento que garantiza una alta uniformidad de riego. Se debe exigir a la empresa la carta de emisores.
  - | Sustitución de aspersores por **boquillas difusoras de baja presión**. Recalcular la carta de emisores.
  - | Evitar las diferencias excesivas de altura de agua aplicada en distintas torres producidas por emisores atascados, fugas en las tuberías o por falta de heterogeneidad en el modelo del emisor instalado.
  - | Si la variación de presión es excesiva a lo largo de la longitud de la máquina, emplear reguladores de presión.
  - | Posibilidades de hacer uso del sistema LEPA (*Low Energy Precision Application*) que realiza la aplicación de agua directamente sobre la superficie del suelo, bien mediante un borboteador o mediante una manga de arrastre en surcos alternos, con un laboreo específico para proporcionar la capacidad de almacenamiento superficial de agua necesaria.

- | Observar detalladamente el **funcionamiento del sistema durante el primer riego de la campaña**. Se detectarán emisores atascados, sistemas de giro que no funcionen correctamente, la estabilidad y verticalidad de los aspersores, etcétera.
- | En coberturas, verificar que en cada parcela de riego se emplean aspersores de marca, modelo y boquilla iguales. Si esto no fuera posible, al menos cada ramal de aspersión debe llevar instalados aspersores iguales.
- | Respecto al intervalo entre riegos (tiempo transcurrido entre la aplicación de un riego y el siguiente) cuanto menor sea dicho intervalo, mayor será la frecuencia de riegos. Para un cultivo dado se puede afirmar que el riego deberá ser más frecuente:
  - | Cuanto menos profundo sea el suelo.
  - | Cuanto menor sea la profundidad que alcanzan sus raíces.
- | Cuanto menor sea la capacidad del suelo para retener agua (textura gruesa).
- | Cuanto mayor sea la evapotranspiración.
- | Cuanto peor sea la calidad del agua de riego.
- | Existen multitud de aplicaciones informáticas específicas para el riego por aspersión de diversa índole (evaluaciones, modelos de descarga y reparto, modelos de distribución del agua en condiciones de viento, modelos de simulación para solapar distribuciones en diferentes marcos de riego, dimensionado óptimo y análisis hidráulico de instalaciones en parcela, diseño de carta de aspersores...) que facilitan el diseño de nuevas instalaciones y ayudan a mejorar las existentes: Sirias, Sora, Usupivot, Catch3D, DOP, Sirmod, AdorSim, Ador-Sprinkler, Depivot, Gestar Crop&Lawn y AVASPER.



Sistema mecanizado de riego por aspersión (pivote).

### Manejo de las instalaciones de riego por goteo

- | Uno de los elementos fundamentales de las instalaciones de riego localizado son los emisores. Si hay que renovar o sustituir los goteros, en la elección de los mismos se recomienda que presenten una serie de cualidades y características técnicas como son:
  - | Caudal uniforme y constante.
  - | Poco sensible a las variaciones de presión (autocompensantes) en caso de que los desniveles de parcela sean importantes.
  - | Alta uniformidad de fabricación (coeficiente de variación inferior al 5 %).
  - | Resistencia a la agresividad química, ambiental y labores agrícolas.
  - | Poco sensible a las obstrucciones.
  - | Estabilidad de sus características de funcionamiento con el tiempo.
  - | Introducción de pocas pérdidas de carga en el lateral.
  - | Poca sensibilidad a las variaciones de temperatura.
- | El principal problema del riego localizado es la obturación de los goteros por ser muy pequeños los orificios de salida del agua, lo que se traduce en una pérdida de uniformidad y eficiencia del riego por la diferencia en los caudales emitidos y en consecuencia un desarrollo no homogéneo de los cultivos. Según el agente causante, las obturaciones se pueden clasificar en: físicas, químicas y biológicas. La mejor forma de lucha frente a este problema es la **prevención** mediante un buen programa de mantenimiento preventivo y la aplicación de medidas específicas.
- | Existen multitud de aplicaciones informáticas específicas para el riego por goteo de diversa índole (evaluaciones, modelos de formación del bulbo húmedo y distribución del agua en el suelo, dimensionado óptimo y análisis hidráulico de instalaciones en parcela, predicción del comportamiento del gotero en campo...) que facilitan el diseño de nuevas instalaciones y ayudan a mejorar las existentes: AVALOC, MIRRIG, Riegoloc, HYDRUS-2D/3D, SIMDAS, HuraGIS y ks2004.



Sistema de riego por goteo.

## 4. La reducción del consumo de agua

A continuación se proponen una serie de medidas recomendadas con el objetivo de reducir el volumen de agua total que se utiliza, optimizando el consumo de agua y el de energía:

### Correcto manejo del riego

- | Emplear la metodología de “programación de riegos” basada en el balance hídrico del conjunto suelo-planta-atmósfera, cuyo procedimiento tiene como finalidad que el regante aplique a sus cultivos la cantidad de agua necesaria en el momento apropiado según la época del año y el estado de desarrollo de la planta para alcanzar su producción potencial.
- | Estimación de las necesidades hídricas reales demandadas por los cultivos en base a las recomendaciones que ofrece y difunde el Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR), adaptadas a las condiciones climáticas locales.
- | Proponer una programación de riegos que se ajuste a las recomendaciones dadas por el SAR y acorde a las características de los equipos particulares instalados en parcela, el tipo de suelo y la calidad del agua de riego.
- | Facilidad del **seguimiento de la programación del riego** a lo largo de la campaña mediante el uso de un cuaderno de campo como herramienta de registro y análisis de la información transmitida por el SAR y la que específicamente se genere en las tareas del riego (tiempo de riego, dosis, periodicidad, presión registrada...).
- | Aplicación de otras metodologías de programación de riegos basadas en el estado hídrico del suelo o el nivel de estrés hídrico de la planta. Necesidad de instrumentación.

### Disminución de las necesidades hídricas (netas y brutas) de los cultivos

- | Implantación de cultivos/variedades menos exigentes en uso del agua.
- | Prácticas/estrategias de riego deficitario controlado, riego por pulsos...
- | Prácticas culturales que mejoren la capacidad de retención del agua en el suelo: enmiendas, mínimo laboreo, siembra directa...
- | Aplicar la fracción de lavado ajustada a las características intrínsecas de la calidad del agua y del suelo de la zona regable y a las particularidades del sistema de riego en parcela para evitar procesos de salinización/sodificación/encharcamiento.
- | Maximizar la eficiencia de riego en parcela (véase medidas del apartado 3).
- | Ajustar los riegos a franjas horarias en las que las pérdidas debidas a causas climáticas (viento, fuerte insolación, humedad relativa baja) sean mínimas.
- | Uso de modelos informáticos de crecimiento de los cultivos con el fin de simular la aplicación de diversas dosis de riego en diferentes períodos de desarrollo de la planta, para optimizar el uso del agua, pronosticar rendimientos, selección de distribución de cultivos que maximicen el margen bruto de una explotación de regadío bajo un amplio rango de escenarios diferentes (distinto coeficiente de uniformidad del sistema de riego, utilización de agua salina, etcétera). Entre otros modelos destaca AquaCrop de la FAO y MOPECO del Centro Regional de Estudios del Agua de la Universidad de Castilla-La Mancha (CREA).

## Reducción de pérdidas de agua en los procesos de transporte y de aplicación

- | Plan de mantenimiento de las instalaciones: balsa, canal, estación de bombeo, filtro, valvulería, red de riego colectiva y red particular de parcela (amueblamiento)...
- | Métodos de detección de fugas en redes colectivas.
- | Evaluación en campo de las instalaciones particulares de riego en parcela.
- | Introducción de mejoras para el manejo y programación del riego a nivel de parcela:
  - | Programadores de riego.
  - | Software para programación automática en frutales.
  - | Cambios de modelos de emisores, de la altura de la caña, del método de aplicación.
  - | Implantación de captadores, sensores y sondas de campo para la medida del estado hídrico de la planta y del suelo.

## Estimar el volumen mal registrado y/o no contabilizado

- | Volumen no medido: evaporación en balsas, limpieza de la red y filtros, purgas, tomas fraudulentas, conexiones legales sin contador...
- | Volumen no contabilizado debido a contadores y caudalímetros parados y al subcontaje de los mismos: mal cierre de la válvula, caudales inferiores al caudal de transición, precisión del aparato...
- | Volumen por sobrecontaje derivado de una alteración en el perfil de velocidades por la presencia de algún elemento accesorio o cuando el hidrante está regulando.
- | Volumen perdido en fugas.
- | Plan de mantenimiento específico para el parque de contadores.

## Control de pérdidas por evaporación

- | Caracterizar las pérdidas de agua por evaporación directa desde la superficie de las balsas-depósitos.
- | Limitar las pérdidas por evaporación mediante el uso de coberturas porosas de sombreado adecuadas, señalándose la necesidad de la evaluación económica de tales pérdidas y de la inversión necesaria.

## Manejo conjunto del agua, del abonado y los tratamientos fitosanitarios del cultivo cuando exista la posibilidad de realizarlo

### Uso de las técnicas de benchmarking

- | Obtener los indicadores de gestión relativos al consumo de agua ( $V_T$ ,  $V_S$ , ED,  $V_S S_r$ ,  $E_a V_T$ ,  $CENV_S$ ...) con el objetivo de obtener una mejora del uso del agua mediante el **análisis de los indicadores** a lo largo del tiempo.

### Elementos de aforo

- | Instalación en sistemas de lámina libre y de presión de elementos de aforo para la medida del caudal y del volumen (caudalímetros, contadores, aforadores, emisores de pulsos...) que cumplan los requisitos metro-lógicos regulados a través de la legislación vigente.
- | Cumplimiento de la Orden ARM/1312/2009 sobre control de volúmenes de agua utilizados.



Sombreado de balsa con malla de plástico.



### Mejora del sistema de explotación de las regulaciones internas en balsas y/o en los canales

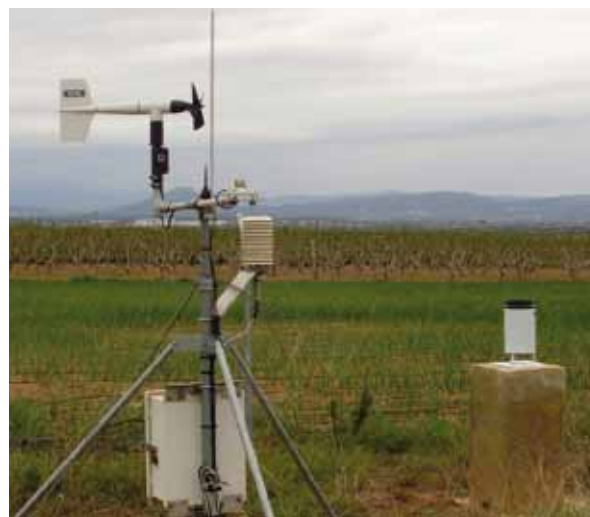
- | Ajuste de los desembalses de agua desde los puntos de almacenamiento a las necesidades reales de riego y a la gestión y uso de las redes (regulación dinámica).
- | Introducción de sistemas de control y regulación en alta, con actuación automática y a distancia en la toma principal y en las derivaciones.

### Facturación del agua al regante

- | Implantación de tarifas vinculadas con el consumo real de agua, abandonando el sistema de pago de un canon por hectárea regada. La facturación del agua se efectuará con tarifas binomias (volúmenes-superficies), pudiendo instaurar un sistema progresivo de penalizaciones que sancione los excesos por superación de determinados niveles de consumo de referencia de agua (por ejemplo, el establecido por el Servicio de Asesoramiento al Regante) para cada cultivo y tipo de suelo implantado en la zona regable y aprobado por la Comunidad de Regantes.
- | Sanciones pecuniarias al regante en la campaña futura mediante restitución del volumen de agua consumido en exceso en la campaña actual. Esta medida es recomendable sólo en zonas regables deficitarias en el recurso agua o en situaciones prolongadas de sequía que obligue al establecimientos de cupos.
- | Proporcionar al regante en su factura **información comparativa** de su uso de agua por cultivo con respecto al consumido en campañas anteriores y contrastar el agua aplicada con las necesidades de riego proporcionadas por el SAR, así como el volumen promedio facturado en las parcelas de la Comunidad de Regantes que tienen el mismo cultivo.

### Si la dimensión de la Comunidad de Regantes lo permite, disponer de su propio SAR

- | Disponibilidad de estación agroclimática automática. Calibración y mantenimiento de los sensores.
- | Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) de forma más precisa para las condiciones locales.
- | Ajustes locales de la duración de las fases y de los coeficientes de cultivo (K<sub>c</sub>).
- | Uso de imágenes aéreas de satélites (o drones) de alta resolución espacial para caracterización de los cultivos (área foliar, ET<sub>o</sub>, K<sub>c</sub>, etapas de crecimiento, producción de biomasa, índices de vegetación...) obteniendo mapas colectivos y particulares de información y previsión para el intervalo temporal escogido.
- | Posibilidad de realizar una **gestión centralizada de la programación del riego de cada parcela**, eliminando las peticiones de riego particulares que el regante debe de solicitar.



Estación agroclimática ubicada dentro de la zona regable.

## 5. La eficiencia en las instalaciones de la red colectiva

A continuación se proponen una serie de medidas recomendadas para su aplicación con el objetivo de mejorar la eficiencia hídrica y energética en las instalaciones colectivas de la red de riego:

### Disminuir las pérdidas de carga que se generan en los elementos principales de la red colectiva:

- | Filtro general. Revisar el mecanismo de limpieza y de extracción de los sólidos con el fin de poder determinar si puede reducirse la presión necesaria y/o el tiempo de lavado, o alargar los intervalos de los ciclos de limpieza para no hacerlos muy frecuentes (si se establece por tiempos y no por pérdidas de carga) siempre que no disminuya el grado de filtración y la calidad de las condiciones de funcionamiento (retención inadecuada de sólidos, colmatación...).
- | Válvulas de seccionamiento de ramales. Asegurarse que se encuentran completamente abiertas para que no produzcan pérdidas de carga mayores a su posición normal de funcionamiento.



Filtro cazapiedras en hidrante. Realizar varias limpiezas durante la campaña de riego.

- | Purgadores. Asegurarse que se encuentren abiertos completamente para eliminar el aire que se va acumulando cuando la instalación está funcionando, impidiendo que la sección de la tubería disminuya por las bolsas de aire acumuladas.
- | Desagües. Asegurarse que se encuentren completamente cerrados.
- | Tuberías a presión:
  - | Limpieza de la red por los desagües para que no queden sólidos y precipitados adheridos en el interior de las conducciones que puedan producir daños y obstrucciones en los elementos hidráulicos de la instalación.
  - | Duplicar aquella tubería que genere pérdidas de carga mayores a las previstas en proyecto o en explotación, instalando una nueva conducción paralela a la misma y cuyo diámetro deberá ser calculado adecuadamente.
- | Conducciones en lámina libre. Retirada de sólidos en suspensión o en flotación que puedan obstruir los elementos de regulación y control del flujo (compuertas murales, picos de pato, sifones de paso, aliviaderos, etcétera).
- | Hidrante:
  - | Practicar un orificio aguas arriba y aguas abajo del hidrante o de la toma a parcela para instalar manómetros de glicerina. De esta manera el regante es conocedor de la presión de servicio disponible a la que le está llegando el agua.
  - | Medir *in situ* la presión en los elementos más característicos del hidrante (filtro, contador y válvula hidráulica) como en su conjunto, al objeto de calcular las pérdidas de carga que se producen para las condiciones de funcionamiento usuales y excepcionales, comprobando si éstas son razonables.

| Pilotos de control:

- Los pilotos generan pérdidas de carga.
- Sustitución de los pilotos de control de dos vías por otros semejantes de tres vías, ya que provocan menores pérdidas.
- Posibilidad de evitar el uso de pilotos reductores de presión y/o limitadores de caudal en aquellas situaciones que puedan anularse sin comprometer el correcto funcionamiento del servicio y la seguridad de la instalación.

| Filtro:

- Limpieza periódica del filtro si se constata una colmatación continua del mismo o si las aguas empleadas en el riego son de calidad baja (precipitados, sólidos en suspensión...).

- Sustitución de la malla del filtro por otra de mayor tamiz de paso para que produzca menos pérdidas de carga siempre que sea compatible con la calidad del agua de riego y no provoque anomalías en el funcionamiento de los elementos del hidrante (válvula hidráulica, contador, microtubos...) y del sistema de riego empleado en parcela.

| Alimentación eléctrica de las casetas de hidrantes para recarga de baterías del telecontrol y el suministro de energía a la instalación particular de parcela mediante:

- Sustitución de pilotos reductores de presión por microturbinas.
- Uso de energías renovables a través de paneles fotovoltaicos.



Filtro de cadenas.

### Balsas de almacenamiento y regulación

- | Aplicación del uso de coberturas porosas de sombreado que permita mejorar las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua, rebajando el consumo de energía utilizada en los procesos posteriores de filtrado del agua o en el movimiento del agua dentro de las tuberías.
- | Cubrimiento mediante la instalación de mantas flexibles fotovoltaicas para la producción de energía eléctrica.

### Plan de mantenimiento de todos los elementos instalados

#### Protocolos específicos

- | Puesta en carga de la red y vaciado de la misma.
- | Situaciones no avenidas en el funcionamiento normal en la campaña (roturas, vandalismo...).



Hidrante.

## 6. La regulación de la estación de bombeo

A continuación se proponen una serie de medidas recomendadas para su aplicación, con el objetivo de reducir principalmente el consumo de energía y de potencia, optimizando la regulación de la estación de bombeo.

Hay que tener en cuenta que el principal objetivo de la regulación es garantizar las variables hidráulicas (presión, caudal, niveles en balsa/depósitos...) dentro de unos márgenes aceptables, minimizando los costes energéticos. Simples cambios o reajustes en la regulación sin llevar a cabo inversiones importantes pueden determinar una estrategia de ahorro energético que repercute directamente sobre la economía de los regantes.

### El proceso de regulación y el tipo de control del mismo a adoptar en la estación de bombeo debe

- | Ser compatible con el modelo de gestión y explotación de la red de riego que se lleva a cabo (turnos, demanda restringida, demanda organizada, demanda libre, etcétera).
- | Particularizar y distinguir los casos de bombeo directo a red con bombeo a punto fijo (balsa, depósito, embalse, inicio de canal).
- | Ser alcanzable con los elementos y equipos de medición, control, comunicación y regulación instalados, proponiendo y justificando en su caso la adquisición de nuevos dispositivos que consigan o mejoren la regulación perseguida.
- | Conseguir una regulación con una eficiencia energética alta dependerá en gran medida de los sensores, de la precisión de los mismos, de los equipos electrónicos que disponga la instalación y del uso de aplicaciones informáticas robustas.

### Minimizar el consumo total de energía (kWh) a lo largo de la campaña de riegos

- | Reducción de la presión de bombeo siempre que sea compatible con la calidad del servicio en la red acordada con los usuarios.
- | Disminución del volumen de agua total bombeado (véase el apartado 4).
- | Mejora del rendimiento individual de cada bomba y/o del conjunto de grupos que conforman la estación de bombeo.

### Estudio de las curvas características de los equipos de bombeo

- | Construir las curvas características reales de altura vs caudal (H-Q), potencia vs caudal (P-Q) y rendimiento vs caudal (Rto-Q) de cada una de las bombas instaladas (incluso a otros regímenes del nominal si éstas son variables).
- | Igualmente, construir las curvas globales H-Q, P-Q y Rto-Q de la estación de bombeo.
- | La utilidad de obtener las curvas características radica en poder:
  - | Disponer de un modelo fiable y realista de la regulación que realiza la estación de bombeo.
  - | Determinar las prestaciones y el rendimiento de los equipos individuales y en su conjunto para los rangos de caudales demandados a lo largo de la campaña.
  - | Estudiar el efecto del envejecimiento de las bombas.
  - | Contrastar experimentalmente el funcionamiento real de la instalación con el comportamiento teórico del bombeo según la información facilitada por el fabricante (curvas catálogo y ensayos en el banco de pruebas).

- | Realizar el análisis hidráulico y energético del comportamiento de la red junto con el de la estación de bombeo.
- | Comparar diferentes **estrategias de regulación** de los equipos.

### Cálculo de la regulación

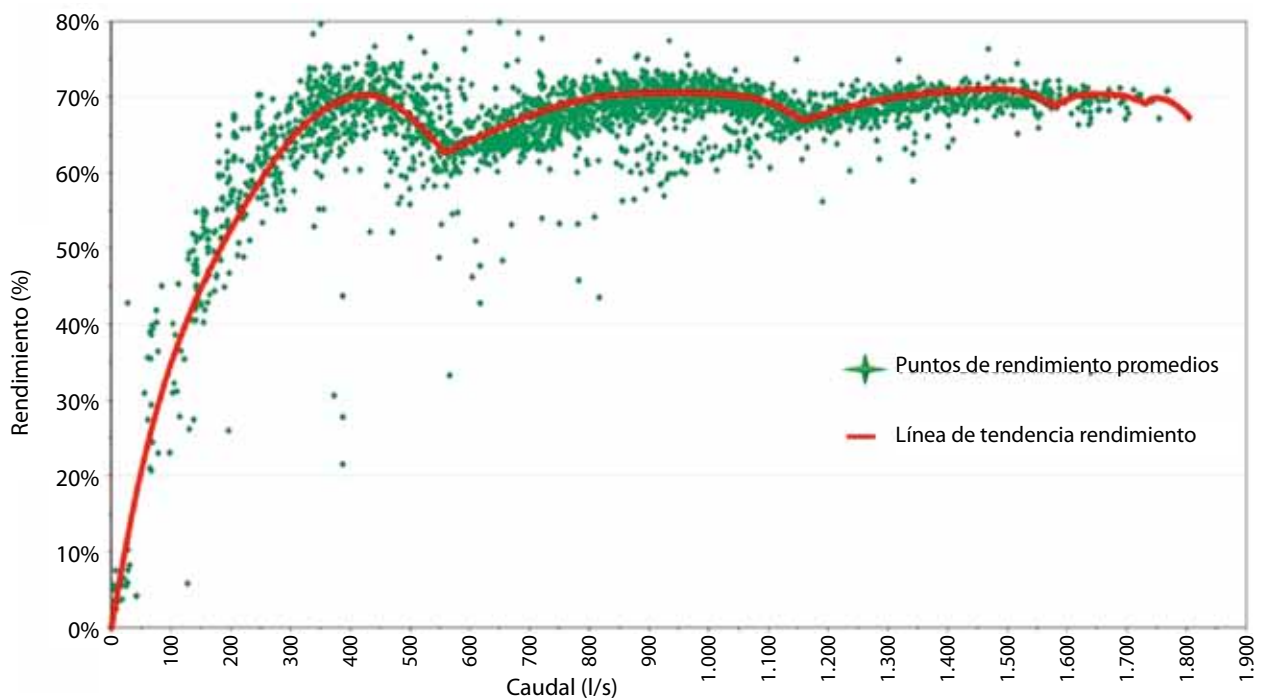
- | Determinar la combinación recomendable del fraccionamiento de los grupos y la secuencia de activación y parada de las bombas, tanto de velocidad fija como variable, que permite conseguir los mejores rendimientos minimizando el consumo energético.
- | Modelo de Análisis de la Eficiencia Energética en Estaciones de Bombeo (MAEEB) desarrollado por el CREA.
- | Diseño y Gestión de Regadíos (GESTAR) desarrollado por el Área de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Zaragoza.

- | Sistemas Supervisores de Control y Adquisición de Datos (SCADA) de última generación.

- | Reconfigurar la secuencia de activación/parada de la composición de los grupos (fijos y velocidad variable) que mejore la curva global Rto-Q de la estación de bombeo.

- | Reordenar el modo de regular los variadores de frecuencia (secuencial o simultánea) en caso de contar con más de una unidad.

- | Selección de puntos de transición de estado (arranque/paro) y ajuste según presión de entrada.



Curva global Rto-Q para una estación de bombeo de 5 bombas.

### Horas de funcionamiento de los equipos

- | La regulación adoptada de la estación de bombeo debe contemplar que, al final de la campaña, todas las bombas (incluida la de reserva si la hubiera) entren en los turnos de arranque y parada rotando el automatismo a los grupos disponibles de forma que se **equilibren el número de horas de funcionamiento** de todos ellos para que el desgaste mecánico sea similar.
- | Modificación de este equilibrio de horas de uso si algún equipo tiene un alto o bajo rendimiento con respecto al resto, tomando las medidas oportunas para conseguir un mismo uso de horas de funcionamiento a un buen rendimiento en todos los equipos instalados.

### Control de la presión en la aspiración

- | Tan importante es conocer y controlar la presión en la impulsión como en la aspiración, debido a que la curva global H-Q (curva motriz) se desplaza según la carga existente en aspiración (modificación del punto de funcionamiento de los grupos, rendimientos distintos al previsto, etcétera).
- | Además, según la tipología de la instalación puede existir riesgo de cavitación, formación de vórtices o estrangulamiento del caudal si la sumergencia mínima no se alcanza, por lo que hay que instalar un control específico de la presión en la aspiración.



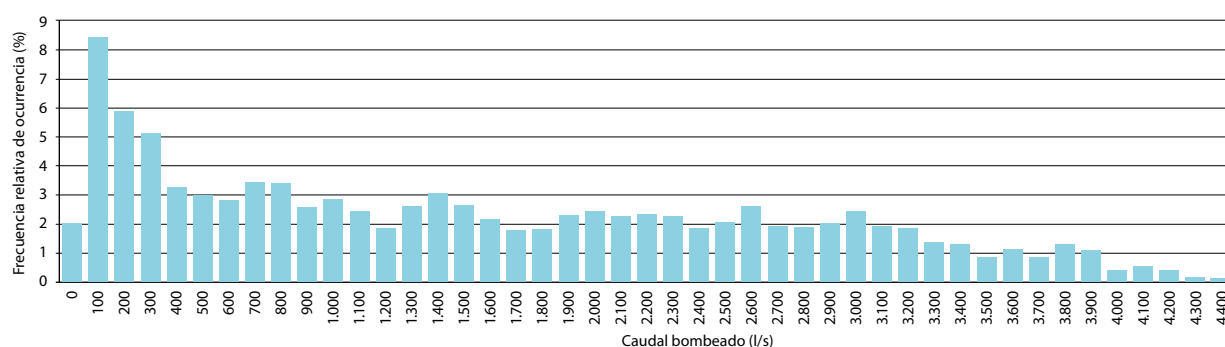
Estación de bombeo con bombas horizontales de cámara partida.

## Estudio de los caudales bombeados a lo largo de la campaña

- | Conocer la distribución y variabilidad del caudal bombeado durante la campaña de riegos para encontrar el tipo de regulación que maximice el rendimiento de la estación de bombeo.
- | Obtener las frecuencias de caudales y su Función de Densidad de Probabilidad de Caudales (FDP) para cada mes y para la campaña completa al objeto de tomar medidas en cuanto a mejorar la regulación de la estación de bombeo para los **caudales más frecuentes**.
- | La mayoría de las estaciones de bombeo suministran con mayor frecuencia caudales pequeños o medianos que el caudal máximo de diseño de la instalación. Es por tanto necesario trabajar con buen rendimiento en estos intervalos de caudales.
- | Uso de la FDP como metodología de contraste en el cálculo de la energía total consumida para comparar diversas estrategias de regulación de la estación de bombeo (por ejemplo, presión consigna actual vs presión consigna nueva; presión consigna actual vs presión por curva resistente...).

## Minimizar las pérdidas energéticas en las maniobras singulares

- | Programación gradual de la apertura y cierre de los hidrantes cuando se inicia y finaliza la jornada de riego.
- | Arranque y parada de bombas de forma escalonada al inicio y fin la jornada de riego, retardando las consignas de actuación lo suficiente para no provocar situaciones de fallo.
- | Reducir al mínimo el número de maniobras de arranque/paro de las bombas.
- | Implantación protocolo de detección de fugas.
- | Tras cada operación de arranque o parada de bomba se debe dejar pasar un tiempo sin permitir nuevas maniobras hasta que la información proporcionada por los sensores correspondientes se establece y pueda considerarse válida.
- | Evitar la entrada de aire y vaciado de la instalación con el consiguiente riesgo de roturas y pérdida de tiempo, agua y energía en los procesos de nuevo arranque y llenado.



Representación de las frecuencias relativas de los caudales bombeados a lo largo de toda una campaña.



### Análisis de indicadores energéticos (benchmarking)

- | Obtener los indicadores de gestión relativos a la eficiencia energética tales como la Eficiencia Energética de los Bombeos (EEB) y la Eficiencia de Suministro Energético (ESE) para cada instante y en forma de balance global acumulado a lo largo de la campaña.

### Regulación clásica

- | Los métodos de regulación más clásicos como es la modificación de la curva resistente del sistema, incorporando pérdidas de carga adicionales mediante el estrangulamiento de válvula a la salida de la bomba o la instalación de un *by-pass* para derivar al depósito de aspiración el exceso de caudal, no se contempla por ser energéticamente menos eficiente que la regulación mediante la modificación de la curva motriz, además de poder presentar problemas de cavitación, turbulencias, vibraciones, calentamiento del fluido, etcétera.
- | Serán admisibles estos métodos de regulación solamente para pequeñas instalaciones donde el rendimiento energético no sea excesivamente importante, en instalaciones que experimenten pequeñas variaciones de caudal, o en las que el tiempo de funcionamiento en condiciones extremas sea mínimo.

### Regulación a punto fijo

- | En una elevación a punto fijo (ya sea balsa, depósito, inicio del canal) generalmente no se requiere regular el caudal a aportar con mucha precisión, siendo aceptable ajustarse a las combinaciones de caudal nominal que proporcionen las bombas.
- | A priori no será necesario que se incorporen a la instalación existentes variadores de frecuencia para el control del caudal proporcionado por las bombas.

- | Estudiar qué programación en los controladores es la más conveniente para que el funcionamiento de los equipos sea el que mejor se adapta a la situación prevista. En el caso de un bombeo a balsa/depósito tener en cuenta:
  - | Si la conducción de impulsión llega por la parte superior, el desnivel geométrico a vencer es constante, por lo que el caudal impulsado será constante.
  - | Si la conducción llega por la parte inferior, la altura geométrica a vencer variará en función de dónde se encuentre el nivel de la lámina libre de agua, y el caudal impulsado por la estación de bombeo será variable.
- | Hay que tener en cuenta que en la posible variación del caudal influirán los siguientes parámetros:
  - | Número de bombas acopladas en paralelo.
    - Salvo en el caso de que la curva resistente de la impulsión sea completamente plana (solo ocurre si la conducción es de un diámetro tal que prácticamente no existen pérdidas de carga), el arranque de un nuevo grupo no duplica, triplica... el caudal impulsado por una sola bomba.
    - Esta disminución en el incremento del caudal esperado será más acentuada cuanto mayor sea el número de bombas acopladas en paralelo y cuanto más resistente sea la instalación.
  - | Curva de la bomba.
    - Se produce más variación de caudal cuanto más horizontal sea la curva característica H-Q.
    - En el caso de pozos, las curvas de las bombas suelen ser bastantes verticales, por lo que la variación del caudal no será excesiva en la mayoría de los casos.
  - | Variación del nivel de la lámina libre de agua.
    - Si la entrada al depósito/balsa se realiza por el fondo se produce mayor variación del caudal bombeado cuanto mayor sea la fluctuación del nivel de llenado (recorrido entre cota de fondo y cota del nivel máximo normal).

- | Resistencia de la instalación (curva resistente).
  - Mayor variación de caudal cuanto mayor resistencia hidráulica tenga.
- | Desnivel geométrico entre la estación de bombeo y el punto de vertido si se realiza desde el fondo.
  - Se produce más variación de caudal cuanto menor desnivel exista (distancia fija), ya que la fluctuación de la lámina de agua será un porcentaje mayor de la altura geométrica a vencer.

### Regulación en inyección directa a red

- | En las estaciones de bombeo de inyección directa a red el principal proceso de regulación que se ha de llevar a cabo es el de proporcionar el caudal que se demande en cada instante garantizando las condiciones de presión requeridas, modificando para ello la **curva motriz** o curva de funcionamiento de la estación mediante la asociación en paralelo de bombas de velocidad fija, bombas de velocidad variable o ambas.
- | El proceso de regulación (puesta en marcha o parada de grupos, variación de la velocidad en los equipos con variador de frecuencia, secuencia del programa...) se realizará a partir de las señales dadas por una serie de controles que detecten la presión, el caudal o bien ambos. De ellos resultan los tipos de control de regulación: manométrica, caudalimétrica y compensada o mano-caudalimétrica.
- | La regulación óptima de la estación de bombeo será aquella que, con alto rendimiento, se adapte lo más posible a la **curva de consigna de la red** (o curva resistente), que relaciona la altura que debe impulsar la estación para que todos los nodos de la red les llegue la presión requerida para todo el rango de caudales que se van a impulsar, minimizando los excesos de presión en la cabecera para cada caudal demandado, evitando gastos energéticos innecesarios y mayores fugas al disminuir la presión. Necesidad de definir la curva de consigna mediante análisis de la red.
- | Optimización de la presión de consigna en la estación de bombeo (curva de funcionamiento o curva motriz).
  - | Se trata de realizar un ajuste de la presión de consigna a alcanzar por los equipos de bombeo mediante regulación estática o dinámica, de forma que se reduzca la energía consumida a la mínima imprescindible.
  - | Presión de **consigna estática**.
    - Es el caso de mantener una presión constante en cabecera, cualquiera que sea el caudal solicitado, o cubrir un rango discreto de presiones vs caudal (escalonamiento) o seguir una curva resistente del sistema (fija) previamente calculada con una modelización hidráulica de la red de riego y que viene parametrizada por una expresión del tipo  $H = H_{\min} + K_s \cdot Q^2$ .
    - En el caso de presión constante siempre se estará suministrando la misma presión independientemente del caudal demandado, siendo normalmente superior a la presión requerida. Energéticamente es el menos eficiente.
    - En la regulación escalonada, la presión de bombeo varía en tramos discretos según el caudal demandado, por lo que se incrementa mucho la eficiencia con respecto a la regulación con presión constante. Aún así es un método de regulación mejorable si se sigue una curva resistente en donde la presión varía de forma continua según varía el caudal demandado.
  - | Presión de **consigna dinámica** (modulación de la presión en continuo).
    - Se trata de una automatización completa de la estación de bombeo en donde se adapta la altura de elevación del bombeo a la que demanda la red en cada momento.
    - Es necesario modificar las consignas de forma continua y suministrar las instrucciones de regulación óptima al PLC/SCADA de control de la estación para alcanzar dinámicamente la presión regulada con el mínimo consumo de energía y potencia.
    - La presión de consigna se ajusta en tiempo real al punto necesario para los hidrantes abiertos que se encuentren regando en un determinado instante o en una evolución temporal de demanda.

| Casos especiales: caudales bajos, zonas de recubrimiento entre bombas y mantenimiento de una presión mínima en la red:

| En la regulación de la demanda de caudales pequeños, para resolver los problemas derivados del no recubrimiento entre bombas o para evitar el continuo arranque y parada de los equipos de bombeo (mantenimiento de una presión mínima en la red cuando no hay consumo que cae continuamente por pequeñas fugas no detectables) con el consiguiente desgaste prematuro del motor, despilfarro energético y bruscas variaciones de presión, y aunque exista un fraccionamiento alto y los grupos auxiliares sean pequeños, es conveniente el uso de un calderín que permitirá aportar importantes volúmenes de agua entre dos valores de presión.

#### Control periódico de parámetros

| Supervisar en tiempo real o a intervalos prefijados el estado de los grupos de bombeo, verificando sus prestaciones instantáneas (caudal, presión, intensidad, voltaje, amperaje, potencia, velocidad de rotación, temperatura del bobinado del motor, temperatura de cojinetes...).



Calderín para ajustar la regulación en casos especiales.

## 7. La eficiencia energética de los equipos de bombeo

A continuación se proponen una serie de medidas recomendadas para su aplicación en la estación de bombeo en cuanto a los equipos instalados, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética.

### Arranque de los motores de las bombas

- | Sustitución de los modos de arranque de los motores de las bombas (directo, estrella-triángulo) por equipos de control electrónico de potencia, como son los arrancadores estáticos y/o los variadores de frecuencia.
- | Estos dispositivos accionan y paran las bombas de manera más suave limitando las intensidades de arranque, prolongando la vida útil del motor y reduciendo las variaciones bruscas de presión que se transmiten a la red en los momentos de arranque (sobrepresiones) y en las paradas (depresiones), a la vez que se consume menos energía.
- | Como todo equipo eléctrico, los arrancadores y variadores consumen energía y tienen pérdidas según la carga de uso. Informarse de los rendimientos y consumos de estos dispositivos.



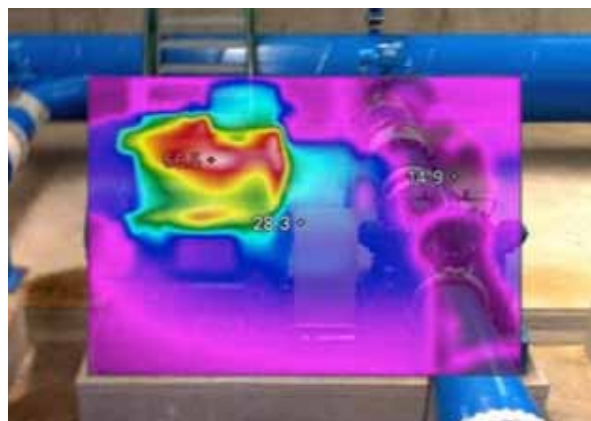
Termografía Infrarroja para diagnóstico de bomba.

### Factor de potencia de la instalación

- | Evitar incurrir en costes derivados por el consumo de energía reactiva mejorando el factor de potencia de los equipos, instalando para ello baterías de condensadores teniendo en cuenta que la instalación no ha de llegar nunca a ser capacitiva.
- | Controlar y revisar el funcionamiento de los condensadores instalados y proceder a su sustitución o corrección si observamos que el valor del factor de potencia ha disminuido de forma considerable, por debajo de 0,95.

### Cambio en el rodete de la bomba

- | Sustitución del rodete o modificación del mismo (recorte de los álabes) para adaptarse al punto de funcionamiento más habitual de la instalación si éste está alejado del punto nominal de diseño de la bomba.



Diagnóstico de bombeo mediante termografía infrarroja.

## Mantenimiento

- | Plan de mantenimiento de las instalaciones y de los equipos de la estación de bombeo: motores, bombas, cuadros eléctricos, batería de condensadores, valvulería, automatismos, electrónica, luminarias, ventilación forzada, refrigeración, instrumentación y sensores para medición, edificio y obra civil.
- | El Plan de mantenimiento debe de disponer de un protocolo de operación que defina los equipos a controlar, los trabajos y acciones (procedimientos específicos) a realizar, la periodicidad de las mismas, los medios humanos, técnicos y materiales requeridos, y las consideraciones a tener en cuenta en prevención de riesgos laborales y en protección ambiental.

## Mejoras en bombeos directos a red

- | Tanto para cubrir los periodos en los que el caudal demandado es bajo y la instalación no está preparada para esta situación o presenta rendimientos no aceptables, como en las situaciones en que existen divergencias entre el patrón de explotación que se da en la práctica respecto al proyectado (cambio en el sistema de riego en parcela con distintas necesidades de presión, cambios de las dotaciones de agua que se dispone en los hidrantes, etcétera) o por un diseño del sistema deficiente, por infra o sobredimensionado, se puede aplicar algunas de estas medidas:
  - | Instalación de un acumulador hidráulico (calderín) que actúa como regulador de caudal a presión.
  - | Instalación adicional de un grupo de bombeo de pequeño caudal (bomba jockey).
  - | Sustitución de uno de los grupos principales por uno o más de menor caudal nominal a la presión demandada.
  - | Instalación de un variador de frecuencia, si no lo hubiera, para no regular mediante estrangulamiento por válvula para conseguir bajos caudales.
  - | Instalación adicional de variador de frecuencia para mejorar las prestaciones de los grupos a los requerimientos de presión y caudal establecidos.

- | Modificación de los equipos instalados (sustitución y recorte del rodete).
- | Disposición adicional de un equipo de bombeo nuevo si los requerimientos del caudal demandado son mayores a la capacidad total de la instalación.

## Mejoras en bombeos desde pozo

- | Uso de cámaras de inspección para verificar el estado del sondeo. Reentubado del sondeo si está dañado o colmatado.
- | Realizar un nuevo sondeo si el actual tiene una mala ejecución que provoca problemas de arrastre de arenas y desgaste acelerado de rodetes.
- | Sustitución de parte de la columna de impulsión si presenta mucha corrosión (aumento de las pérdidas de carga) o fugas por perforaciones.
- | Caracterizar el comportamiento del nivel del sondeo por si se producen cambios acusados en el nivel estático y dinámico a lo largo del tiempo, a fin de llevar a cabo las modificaciones necesarias en la bomba para que ésta trabaje con la máxima eficiencia, llegando en algunos casos a la sustitución de la bomba o del rodete para sus exigencias energéticas de funcionamiento habitual. Uso de piezómetros.



Obstrucción de la rejilla de aspiración en bomba sumergible.

- | Sustitución de los cables de alimentación si éstos no están bien dimensionados, presentan daños o pérdidas eléctricas del conductor mayores a los valores aceptables, lo que produce una elevada pérdida de energía en el transporte desde el cuadro eléctrico hasta los bornes del motor.
- | Instalación de sondas de control de nivel (máximo, mínimo y continuo) que provoque la parada del motor cuando el nivel de agua en el sondeo esté al mínimo, y el arranque del mismo, cuando el nivel se haya recuperado.
- | Incorporar un controlador (autómata programable) para dotar al sondeo de mayor seguridad en su propia operación y de mayor información para el gestor. Las funciones de ese automatismo serían las de gestionar las alarmas y correspondientes paradas debido a situaciones diversas detectadas a través de los sensores instalados. Entre otras, se destacan alarmas debidas a: bajo nivel de aspiración, baja presión de impulsión, bajo o alto caudal impulsado y fallos eléctricos.
- | Analizar el estado del grupo de bombeo del sondeo mediante aplicaciones informáticas como "Análisis de impulsiones en Sondeos (AS)", desarrollada por el CREA como herramienta para la ayuda a la toma de decisiones.



Instalación de riego solar (cortesía de la Asociación de Investigación para la Mejora del Cultivo de la Remolacha Azucarera, AIMCRA).

### Inclusión de dispositivos y energías renovables

- | Instalación de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) si no se cuenta con él para que, en el caso de fallo en el suministro eléctrico, éste pueda proporcionar la energía suficiente para asegurar la autonomía del autómata durante un tiempo determinado para enviar las señales y alarmas adecuadas al centro de control, para alertar de la situación anómala provocada por la falta de fluido eléctrico y ordenar una parada en orden de la instalación.
- | Instalación de una instrumentación mínima necesaria para conocer y mejorar el funcionamiento y la regulación de la estación de bombeo.
- | Utilización de energías renovables en los casos en los que sea técnica y económicamente viable. Estudio previo que analice los consumos, así como la capacidad y las posibilidades de generación eléctrica con el que valorar la viabilidad de la instalación.

### Situaciones anómalas por cavitación y cortes en el suministro eléctrico

- | Tener información continua en el tiempo de la presión reinante en la aspiración, mediante la instalación de un manómetro/transductor de presión y adaptar un protocolo de parada de los grupos con la ayuda de un presostato cuando se alcance una presión inferior al valor del NPSH requerido de la instalación, evitando el funcionamiento de los equipos en situaciones en las que pueda presentarse cavitación.
- | Establecer un protocolo de rearme y arranque de los equipos tras un corte en el suministro eléctrico en la instalación.

## 8. La toma de datos y mediciones en la estación de bombeo y la red

Para tener un conocimiento del funcionamiento de los equipos y de la red es fundamental **instalar dispositivos de medición** que aporten información intrínseca de ciertos parámetros tanto eléctricos como hidráulicos, que permitan caracterizar el consumo energético y de agua.

Los instrumentos más empleados para la medición de las principales magnitudes eléctricas y fluidas son analizadores de redes, manómetros de glicerina, transductores y presostatos de presión, medidores de caudal (caudalímetros) y de volumen (contadores). Con menor implantación, pero no por ello de menor importancia, destacan los sensores para la medición de la temperatura, el posicionamiento del eje de válvula o del elemento obturador, el nivel de la lámina libre del agua, la intrusión, la detección de flujo, la calidad del agua de riego, etcétera.

**La información captada y suministrada por los dispositivos de medición tiene una alta utilidad práctica para:**

- | Incorporar funcionalidades y procesos de automatización, sistemas SCADAs y sistemas de telecontrol, poseedores de una gran potencialidad de mejora en la gestión, regulación y explotación de la instalación, en base a las lecturas de las señales y registros provenientes de la instrumentación.
- | Supervisar y evaluar el estado de la red y de la estación de bombeo en tiempo real mediante la monitorización y registro de parámetros de funcionamiento. Tener conocimiento del funcionamiento (adecuado o incorrecto) de la instalación. Control de puntos críticos.
- | Seguimiento de la evolución de la energía y agua consumida a lo largo de la campaña, validando la gestión y uso que se está llevando a cabo de la instalación, contemplando la posibilidad de efectuar correcciones que mejoren el servicio de la red (principalmente presión) y disminuya los costes energéticos.
- | Cálculo de parámetros e índices de gestión tanto instantáneos como acumulados en un periodo de tiempo mediante técnicas de benchmarking.
- | Confección de la factura del regante por uso de tarifas binomias (superficie servida-volumen consumido).
- | Cuantificar los consumos residuales y eliminarlos. Éstos son los que se producen cuando creemos que la instalación está parada pero con la ayuda de la instrumentación son detectables.
- | Ajuste y calibración del modelo computacional de la red. Actualización de parámetros (recalibración) según envejecen las instalaciones.
- | Activación de protocolos de maniobras comparando valores simulados con los medidos en puntos de control, detectando disfunciones de forma inmediata si ambos discrepan más allá de un umbral de tolerancia. (Ejemplos: detección y localización de fugas, consumos improcedentes, fraudes, obstrucciones, fallos de la instrumentación o comunicaciones, falta de agua en aspiración, sobrepresiones en impulsión, etcétera).

### Cuestiones prácticas a tener en cuenta

- | En los puntos en donde se van a tomar medidas de presión, la cota topográfica de los mismos debe ser obtenida con gran exactitud, siendo recomendable que se realice un levantamiento topográfico de dichos puntos.
  - | Es interesante contar con equipos portátiles de registro y almacenamiento de datos (*data-loggers*) dotados de la correspondiente sonda para medir la evolución temporal de la variable deseada.
  - | En aquellas instalaciones que cuenten con sistemas de telecontrol aprovechar las capacidades del mismo, conectándolos a sensores para controlar el estado de la red (principalmente presión).
  - | Debe existir un protocolo de medición de los datos: toma, periodicidad, sistema de recogida, tratamiento, filtrado, depuración, almacenamiento y guardado de los mismos.
  - | Realizar un mantenimiento, validación y correcta calibración de los instrumentos, equipos de medición y sensores de captación de datos, así como de los registros aportados por el telecontrol para no tener incertidumbres.
  - | Las instalaciones colectivas deben tener, al menos, un contador de agua por unidad de riego o agrupación para conocer el consumo individual y otro en cabecera del sistema y, localizar, al menos, un punto de medida de presión en los elementos de regulación del sistema.
- | Lo ideal sería disponer de suficientes elementos de medición para poder conocer, en cualquier momento de funcionamiento o parada de la instalación, los siguientes datos:
    - | Presión en los hidrantes, al menos en los más desfavorables (finales de ramales y más elevados).
    - | Presión suministrada por los grupos de bombeo mediante la medición de la presión en el colector general de aspiración y en los colectores individuales y general de la impulsión.
    - | Demanda de agua en los hidrantes.
    - | Caudal circulante en la primera línea del sistema.
    - | Caudal circulante en cada bomba.
    - | Caudal circulante por el *by-pass* de la estación de bombeo, si existiera.
    - | Temperatura del motor y de los rodamientos/cojinetes de la bomba.
    - | Nivel de lámina libre del agua en la cabecera del sistema si se alimenta desde embalse, balsa, depósito o cántara de aspiración...
    - | Pérdida de carga en la estación de filtrado.
    - | Posición de las válvulas.
    - | Intensidad de corriente, tensión, potencia,  $\cos \varphi$  para cada equipo de bombeo y para la instalación general.



Medición de la presión en el colector de impulsión.



## Aspectos prácticos del parque de contadores

- | Si el caudal que circula por un contador es mucho mayor para el que está dimensionado, se producirá un **desgaste mecánico de las partes móviles**. Se deben evitar estas situaciones (vertidos a la atmósfera, dotaciones de riego mucho mayores al caudal nominal del contador. . .).
- | También se produce desgaste y lecturas erróneas si el fluido que atraviesa el contador es aire de forma continua, por lo que hay que eliminar las bolsas de aire mediante la instalación de una ventosa aguas arriba del contador si no se dispone de ella.
- | Asegurar la limpieza de la tubería en la que el contador está insertado y disponer de un filtro cazapiedras aguas arriba del contador en caso de que no lo tenga la instalación, para evitar que los sólidos bloqueen, frenen o dañen la hélice y las partes internas, así como la modificación de la curva de error del contador.
- | Realizar el vaciado de la red por los desagües con que debe contar la infraestructura de transporte y nunca a través de los hidrantes, puesto que aunque éstos cuenten con filtros cazapiedras, pueden quedar dañados los elementos hidráulicos que lo conforman (válvula hidráulica, contador, etcétera) por la gran cantidad de agua eliminada con sólidos arrastrados.
- | Si se produce un cambio del sistema de riego, colocar un contador adecuado al valor del caudal usado para regar. Un infradimensionado supone que por el equipo el agua circula a velocidades altas que pueden deteriorar los elementos mecánicos y producir un desgaste prematuro de las piezas internas del instrumento, deteriorando su curva de error. Por el contrario, un contador sobredimensionado trabaja en la zona inferior del rango de medida donde los errores de medición son más elevados y produce un deterioro prematuro al funcionar continuamente alejado de su caudal nominal. Además, el agua circula a baja velocidad con lo que aumenta la sedimentación de solutos e incrementa la probabilidad de fallo en la medición.
- | Respetar las indicaciones del fabricante en cuanto a la instalación de tramos rectos libres de obstáculos como codos, tes, válvulas manuales, etcétera, antes y después del medidor (tramos tranquilizadores) para garantizar que la precisión de la medida es correcta.
- | Vigilar las maniobras asociadas a la apertura/cierre de las válvulas para que éstas se realicen de forma controlada (lentamente), evitando transitorios hidráulicos que distorsionan la medición y desgastan las partes internas.
- | Reorientar el contador si la posición en el que está instalado no es la indicada por el fabricante. Cualquier otro tipo de instalación afecta negativamente a su curva de error y perjudicará la vida útil del mismo al apoyar la turbina sobre el eje de manera incorrecta.
- | Los contadores deben estar protegidos contra manipulaciones, sustituciones y alteraciones mediante los correspondientes precintos.
- | Si se automatiza mediante un emisor de pulsos, el contador puede efectuar una función de telelectura y actuar también como un caudalímetro.
- | Instaurar un programa y procedimiento de **verificación periódica** en función de los años de instalación o el número de horas de funcionamiento que garanticen que el consumo de agua contabilizado está dentro de unos límites establecidos.

## 9. La contratación del suministro eléctrico

A continuación se proponen una serie de medidas recomendadas para su aplicación con el objetivo de reducir el gasto de la factura eléctrica en base a la contratación de las tarifas eléctricas. Estas medidas no producen un ahorro de energía (kWh totales consumidos en la campaña) pero sí un ahorro en los costes energéticos.

### Potencia a contratar

- | La potencia eléctrica total instalada de los equipos de elevación que componen la estación de bombeo no tiene por qué ser la potencia a contratar.
- | Ajuste máximo de la potencia a contratar a la previsiblemente utilizada y necesaria en cada periodo de consumo, según la modalidad de gestión, organización y uso de la red de riego que se va a llevar a cabo estudiada en sus aspectos energéticos e hidráulicos, conforme a las hectáreas de superficie que se van a poner en riego en cada campaña y los cultivos que van a implantarse.
- | Análisis de la curva de carga cuarto-horaria de la campaña para conocer el consumo detallado de potencia y penalizaciones.
- | Estudiar la **conveniencia de incurrir en recargos por exceso de potencia** en algún periodo tarifario si, en el conjunto del año, el coste total de la factura eléctrica disminuye por una contratación menor de potencia con respecto a la previsible u ocasional que pueda darse en el periodo considerado.

### Uso de los periodos tarifarios más baratos

- | Organizar la demanda de los riegos según se trate de un bombeo de inyección directa a red o a un punto fijo (balsa, depósito) para priorizar el uso de los equipos eléctricos a los periodos tarifarios y franjas horarias cuyos términos de energía y de potencia son menores para la tarifa a la que esté acogida, minimizando o evitando el uso de los periodos y franjas más caras y rebajando la cantidad de potencia necesaria en dichos periodos.

### Eliminar la energía reactiva

- | Los recargos por penalizaciones en la facturación por exceso de energía reactiva deben ser eliminados mediante la instalación de una batería de condensadores que compensen el consumo de reactiva, verificando periódicamente el correcto funcionamiento de los mismos.

### Estudio de ofertas de comercializadoras

- | Solicitar varias ofertas de contrato de suministro a distintos comercializadores de energía eléctrica y compararlas entre sí en base a unos requerimientos de partida fijados (potencia, horario de uso,  $\cos \phi$ , energía total previsiblemente consumida en la campaña en cada periodo...), buscando la tarifa más conveniente.
- | Conocimiento de las características del suministro, tipos de tarifas y condiciones que ofrece cada compañía suministradora.
- | Intentar negociar unos precios de tarifa y condiciones de suministro lo más favorables posibles hasta conseguir los mejores precios.

## Factura eléctrica

- | A todos los responsables de la Comunidad de Regantes se les debe dar unas pautas de formación para la correcta interpretación de los componentes de las facturas eléctricas.
- | Seguimiento por parte del gestor de la facturación eléctrica revisando periódicamente la adecuación del consumo de energía y potencia a la tarifa contratada, analizando todos los valores medibles (kWh consumidos por periodo tarifario, energía reactiva, máxima potencia registrada, penalización por potencia contratada...). Realizar comparativas con campañas anteriores.

## Uso de herramientas informáticas para optimizar la factura eléctrica

- | Optimizador de Tarifas Eléctricas (OTE), desarrollado por el CREA.
- | Herramienta para Optimizar la Factura Eléctrica (OFE), desarrollado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

CONOZCA AL DETALLE SU FACTURACIÓN Y CONSUMOS														
<b>ENERGÍA</b>														
<b>Potencia facturada</b> (30/11/2013-31/12/2013)	<table border="1"> <tr><td>P1 10 kW x 3,236071 €/kW</td><td>32,36 €</td></tr> <tr><td>P2 10 kW x 1,619436 €/kW</td><td>16,19 €</td></tr> <tr><td>P3 10 kW x 1,185159 €/kW</td><td>11,85 €</td></tr> <tr><td>P4 10 kW x 1,185159 €/kW</td><td>11,85 €</td></tr> <tr><td>P5 10 kW x 1,185159 €/kW</td><td>11,85 €</td></tr> <tr><td>P6 617 kW x 0,540746 €/kW</td><td>333,64 €</td></tr> </table>	P1 10 kW x 3,236071 €/kW	32,36 €	P2 10 kW x 1,619436 €/kW	16,19 €	P3 10 kW x 1,185159 €/kW	11,85 €	P4 10 kW x 1,185159 €/kW	11,85 €	P5 10 kW x 1,185159 €/kW	11,85 €	P6 617 kW x 0,540746 €/kW	333,64 €	<p>Potencia contratada en cada periodo</p> <p>Término de potencia en cada periodo</p>
P1 10 kW x 3,236071 €/kW	32,36 €													
P2 10 kW x 1,619436 €/kW	16,19 €													
P3 10 kW x 1,185159 €/kW	11,85 €													
P4 10 kW x 1,185159 €/kW	11,85 €													
P5 10 kW x 1,185159 €/kW	11,85 €													
P6 617 kW x 0,540746 €/kW	333,64 €													
<b>Total importe potencia hasta 31/12/2013</b>		<b>417,74 €</b>												
<b>Energía facturada</b> (30/11/2013-31/12/2013)	<table border="1"> <tr><td>P1 615 kWh x 0,151135 €/kWh</td><td>92,95 €</td></tr> <tr><td>P2 1.083 kWh x 0,11995 €/kWh</td><td>129,91 €</td></tr> <tr><td>P6 31.513 kWh x 0,06752 €/kWh</td><td>2.127,76 €</td></tr> </table>	P1 615 kWh x 0,151135 €/kWh	92,95 €	P2 1.083 kWh x 0,11995 €/kWh	129,91 €	P6 31.513 kWh x 0,06752 €/kWh	2.127,76 €	<p>Energía consumida en cada periodo</p> <p>Término de energía en cada periodo</p>						
P1 615 kWh x 0,151135 €/kWh	92,95 €													
P2 1.083 kWh x 0,11995 €/kWh	129,91 €													
P6 31.513 kWh x 0,06752 €/kWh	2.127,76 €													
<b>Total 33.211 kWh hasta 31/12/2013</b>		<b>2.350,62 €</b>												
<b>Energía reactiva</b> (30/11/2013-31/12/2013)	<table border="1"> <tr><td>P1 590,05 kVArh x 0,062332 €/kVArh</td><td>36,78 €</td></tr> <tr><td>P2 1.004,61 kVArh x 0,062332 €/kVArh</td><td>62,62 €</td></tr> </table>	P1 590,05 kVArh x 0,062332 €/kVArh	36,78 €	P2 1.004,61 kVArh x 0,062332 €/kVArh	62,62 €									
P1 590,05 kVArh x 0,062332 €/kVArh	36,78 €													
P2 1.004,61 kVArh x 0,062332 €/kVArh	62,62 €													
<b>Total energía reactiva hasta 31/12/2013</b>		<b>99,40 €</b>												
<b>Exceso de potencia</b>		114,62 €												
<b>Impuesto sobre electricidad</b>	4,864% s/ 2.982,38 € x 1,05113	152,48 €												
<b>TOTAL ENERGÍA</b>		<b>3.134,86 €</b>												
<b>SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS</b>														
<b>Alquiler equipos medida</b> (30/11/2013-31/12/2013)	1 mes x 64 €/mes	64,00 €												
<b>TOTAL SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS</b>		<b>64,00 €</b>												
<b>IMPORTE TOTAL</b>		<b>3.198,86 €</b>												
<b>IVA</b>	21% s/ 3.198,86 €	671,76 €												
<b>TOTAL IMPORTE FACTURA</b>		<b>3.870,62 €</b>												

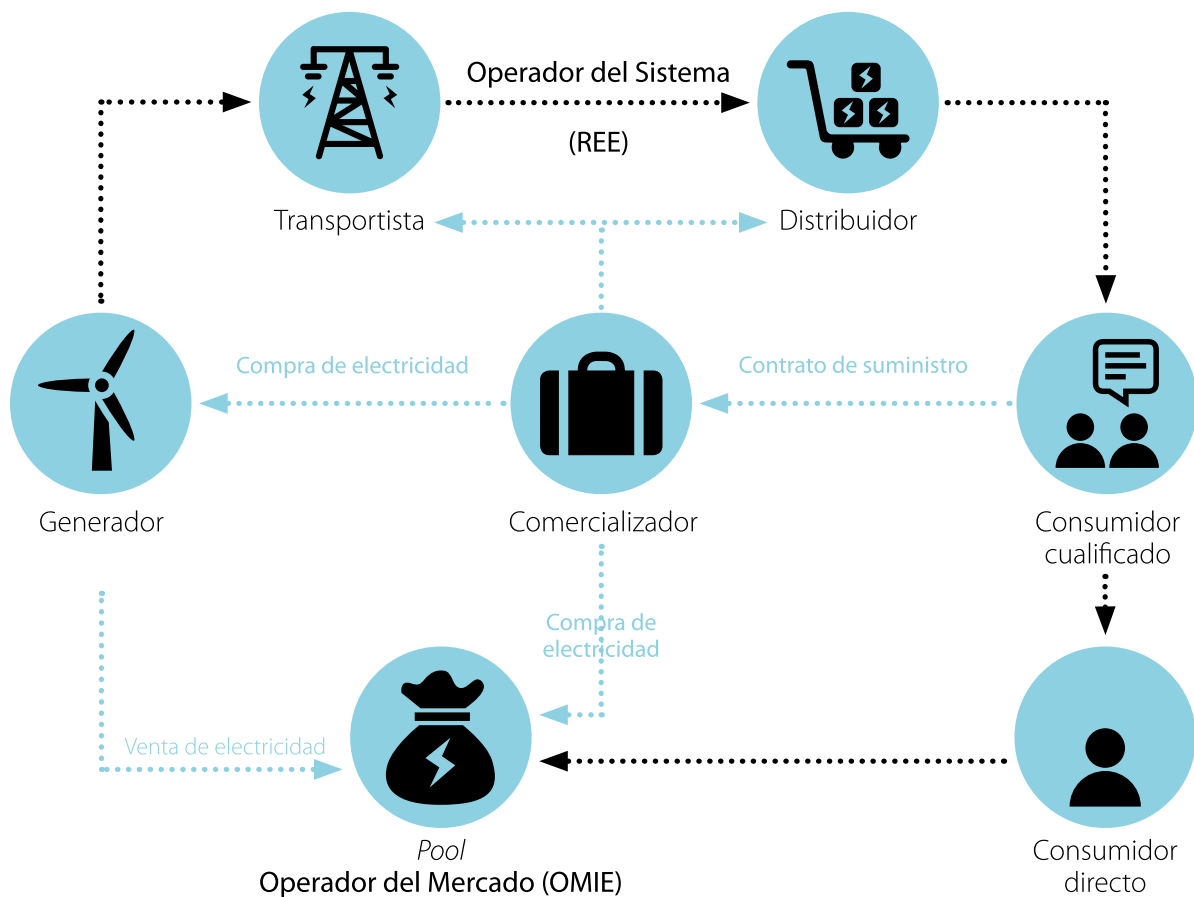
Ejemplo del detalle de facturación y consumo de una factura eléctrica de seis periodos.

### Participar en un contrato indexado

- | Negociación conjunta de varias Comunidades de Regantes al objeto de aglutinar el mayor volumen de consumo energético posible.
- | El contrato indexado representa la contratación de grandes potencias y consumo de energía, muy atractivas para las compañías eléctricas, pudiendo conseguir condiciones muy ventajosas al tener mayor poder de

negociación con el objetivo de conseguir abaratar al máximo los precios de contratación de la energía y obtener unas tarifas eléctricas más competitivas, incluso con la posibilidad de no verse afectado por posibles incrementos debidos al aumento del precio de la energía en el mercado eléctrico si se negocian varias anualidades.

- | Posibilidad de incorporación de otros colectivos a la negociación, no solo de regantes, sino también de diferentes usuarios de energía (agroindustrias, SAT's, cooperativas...).



Esquema de funcionamiento del Mercado Ibérico de la Electricidad.

- | Campo de actuación para las Juntas Centrales de Usuarios.
- | Este tipo de contratación suele ser muy ventajosa para el usuario en cuanto que suelen ser contratos indexados al "pool" con precios del mercado diario de la energía pero sin el riesgo de la volatilidad y cambios bruscos en los mismos.
- | Se realizan unos contratos de garantías con las comercializadoras a precios más ventajosos por el volumen a contratar y por debajo de la tarifa del mercado con contrato de precios fijos.

#### Participar en el "pool" eléctrico

- | Posibilidad de participar a través de la figura del Agente de Mercado en el mercado ibérico de la electricidad y, así, poder realizar la compra de energía para cada periodo de programación del calendario de riegos directamente, eliminando la intermediación de la comercializadora.
- | A través de esta figura se consigue un ahorro considerable del término unitario de energía.
- | La compra directa en el mercado online requiere de una sincronización del calendario de riegos y una tecnificación exhaustiva de las instalaciones, así se evitan sobrecostes por los desvíos que se puedan producir en la compra de la energía estimada *versus* energía realmente consumida.
- | La adquisición de esta figura no exime del pago del término de potencia que viene regulado por el Estado.

#### Estudio energético detallado

- | Llevar a cabo la realización de un estudio energético completo que permita analizar, la situación actual del funcionamiento y eficiencia de las instalaciones de bombeo, la idoneidad de la potencia contratada, detectar problemas y proponer **medidas de mejora**.
- | Como herramienta de diagnóstico puede aplicarse tanto el "Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes", elaborado por el IDAE, como otras metodologías recogidas en los trabajos de grupos de investigación y docencia (Universidad Miguel Hernández y docencia (Universidad de Castilla-La Mancha, Universidad de Orihuela, Universidad de Córdoba, Grupo Tragsa...)).

#### Medición de las variables eléctricas

- | Instalación de dispositivos electrónicos de medición de variables eléctricas (analizador de redes) en aquellas instalaciones que adolezcan de los mismos.
- | Los datos que aporta el analizador de redes informa de manera continua de cómo están comportándose los equipos, del consumo energético que se está realizando y si se están cumpliendo los parámetros y objetivos de contratación con la empresa comercializadora eléctrica.



Analizador de redes para medición de parámetros eléctricos.

## 10. La eficiencia en las operaciones de gestión

A continuación se proponen una serie de medidas encaminadas principalmente a la organización y planificación del riego y a la gestión y uso de la red. Mediante cambios sobre la gestión de la explotación de la red es posible conseguir significativos ahorros, tanto de potencia como de energía sin comprometer la calidad del servicio, aunque no se realicen necesariamente mejoras en las infraestructuras hidráulicas.

### Organización de las demandas

- | Distribución de las peticiones de riego, según se trate de un bombeo de inyección directa a red o a un punto fijo (balsa, depósito), priorizando el funcionamiento de los grupos de elevación en las franjas horarias de menor precio de la energía según la tarificación escogida (3 o 6 periodos).
- | Establecimiento de turnos o demanda restringida en los meses de máximos consumos de agua para no superar el caudal instantáneo de bombeo que sobrepase la potencia contratada en cada periodo tarifario si no se desea incurrir en penalizaciones por excesos de potencia.

### Sobrepasar la potencia contratada

- | Organización de los riegos asumiendo un recargo en la factura eléctrica por penalización de exceso de potencia, si en el cómputo general del año esta gestión resultase más barata que contratar mayor potencia en el periodo tarifario penalizado.

### Superficies vulnerables

- | Retirada de las parcelas más desfavorables en requerimientos de presión si éste es mucho mayor a la del resto de la zona regable.
- | Disminuir la presión de servicio a garantizar en estas superficies, ya que penalizan energéticamente al resto del sector hidráulico.
- | Cambios en el amueblamiento en estas parcelas a sistemas de riego con menores exigencias de presión: migración de aspersión a goteo, cambio de boquillas, sustitución de emisores a otros de menor presión de trabajo...
- | Reducir la presión de consigna del bombeo si viene condicionada por una o pocas parcelas desfavorables, y regarlas exclusivamente mediante un turno independiente del resto de la red.

### Incentivar el riego en el periodo tarifario más barato

- | En aquellas redes en las que exista suficiente holgura en la capacidad de transporte, premiar al regante imputando menores costes energéticos en la derrama a los comuneros que solicitan sus riegos en el periodo más barato e incrementar los costes de aquellos que rieguen en periodos más caros pudiéndolo hacer en horas tarifarias más baratas (normalmente coincide con las horas nocturnas).

### Patrones de consumo

- | Conocimiento de los patrones de consumo y posibilidad de modificarlos, adaptarlos o concentrarlos a los periodos horarios en los que el coste de la energía es más barata.
- | Restricciones horarias e incluso ordenación del horario de riego de los diferentes peticionarios, dirigiendo las peticiones aleatorias de los regantes hacia las horas más baratas.

### Caudal mínimo de bombeo

- | Evitar o eliminar los caudales bajos en los que el equipo de bombeo trabaja alejado de su punto de diseño (donde el rendimiento es máximo) agrupando las demandas, principalmente al inicio y final de campaña, hasta un caudal mínimo compatible con un rendimiento tolerable.
- | Reproducir los procesos implicados de concentración y disolución de los productos inyectados mediante programa adecuado de simulación hidráulica (por ejemplo, EPANET) para evaluar y proponer estrategias que permitan mejorar la distribución del fertilizante por medio de una programación adecuada del riego.

### Turnos en fertilización colectiva

- | En el caso de realizar fertirrigación comunitaria de forma colectiva (cuando las características de los cultivos y de la red hidráulica lo permiten) y por las dificultades encontradas para conseguir una distribución uniforme del fertilizante debido a los varios condicionantes existentes en la gestión, organizar el riego por turno o sectores.
- | Es imprescindible conocer los caudales demandados para preparar las soluciones y programar los equipos de inyección.



Equipos de fertilización colectiva.

## Modelización hidráulica de la red de riego y la estación de bombeo

| Diversas acciones encaminadas a la mejora de la explotación de la red, en cuanto a la búsqueda de mínimos costes energéticos garantizando la calidad del servicio, precisan del análisis de los resultados de la **simulación hidráulica y energética** extraídos de algún programa informático específico de modelización.

| Sectorización de la red colectiva.

- Dividir la superficie regada en sectores o pisos homogéneos de tal forma que cada sector riegue en un turno con demanda energética similar y óptima (mínima).
- Esta sectorización o turno puede demandar distinta o igual presión de consigna o escalones de bombeo entre ellos, por lo que habrá que estudiar las posibilidades de regulación de la estación de bombeo ante las modificaciones de las condiciones de funcionamiento (presiones heterogéneas en cabecera) con el objetivo de maximizar el rendimiento de los equipos.
- Muy eficaz en zonas con diferencias importantes de cota y método de riego.
- La sectorización a efectuar para agrupar las tomas puede realizarse siguiendo distintos criterios:
- En función de las demandas de agua (ordenar y agrupar las peticiones de riego).
- En función de la cota topográfica de los hidrantes.
- En función de la superficie regada.
- En función del sistema de riego en el turno (gravedad, goteo, aspersión) para que sea homogéneo.

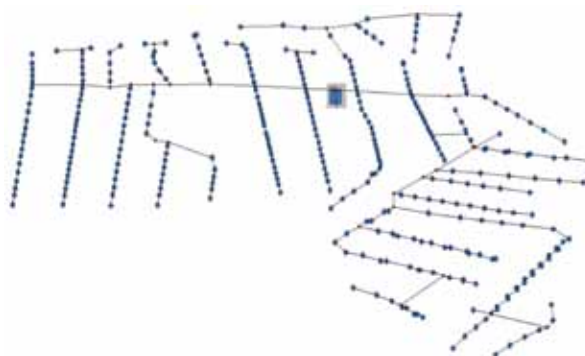
| Simulación predictiva del estado de la red para programaciones de riego temporales.

- Mediante la simulación del modelo de la red completa, en conjunción con balsas y estación de bombeo, a lo largo de un periodo de tiempo prefijado (día, semana, quincena...) se predicen todas las variables hidráulicas y energéticas que van a tener lugar en todos los puntos, al ejecutarse una determinada programación de riegos para dicho periodo.

- Se evalúa, antes de ser confirmada, la programación de riegos con objeto de detectar si la programación generará algún problema en la red, por ejemplo, déficit de presión en algún hidrante, exceso de velocidad en conducciones, exceso de consumo de potencia, falta de rendimiento en las bombas, vaciado de balsas, etcétera, en las que el gestor podrá anticiparlas y corregirlas mediante cambios en la programación y otras acciones.
- Libera a los gestores de la dedicación de horas para conocer la energía y el coste energético que va a consumir la red para una programación de riegos solicitada (peticiones), así como para predecir el comportamiento de la red ante una demanda programada y un cambio de peticiones.
- Permite realizar comparativas entre los valores simulados y los valores reales obtenidos, estimando las mejores soluciones y estrategias de gestión tanto bajo el punto de vista hídrico como energético, ensayando alternativas con el modelo.

| Reorganización de las peticiones de riego mediante un algoritmo de optimización de tipo evolutivo.

- El objetivo es suministrar una programación de riegos, de manera que se organizan las peticiones realizadas por los regantes con toda clase de restricciones flexibles o forzadas (riegos inamovibles, horas de insolación/viento excesivo, no superar un



Modelo de red para simulación.



cierto nivel de potencia...) para un determinado periodo de tiempo, para que, satisfaciendo el tiempo de aplicación de la dosis y los requerimientos de presión en todo momento, el coste de energía sea el mínimo.

- Esta medida es sumamente ventajosa debido a que puede alcanzar potenciales de ahorro respecto a programaciones realizadas a la demanda pura, sin planificación previa, además de liberar a los gestores de la tarea de programar manualmente los riegos (sin coste óptimo y con riesgo de no alcanzar presiones requeridas).

| Modular la altura de bombeo a los requisitos de la demanda realmente existente (regulación dinámica).

- Se trata de gestionar la regulación de la estación de bombeo en tiempo real, **ajustando la presión de bombeo a la requerida** en el estado de demanda existente en la red en ese momento (consigna dinámica), de manera que el hidrante más desfavorable que se encuentre abierto obtenga la presión de consigna, pero no más (véase medidas del apartado 6).
- Se busca **minimizar el exceso de presión** para cada conjunto de demandas que se produzca en la red a lo largo de su funcionamiento.
- El autómata de control de la estación de bombeo debe ser capaz de adaptar la regulación al punto requerido buscando la combinación óptima de equipos de bombeo para obtener el mejor rendimiento energético global.

### Aprovechar el potencial del telecontrol

| Las capacidades del sistema de telecontrol deben de ser aprovechadas para utilizarlo, más allá de sus funciones de apertura/cierre de válvulas y de transmisión de datos, como una **herramienta de telegestión** que aporte capacidad de modelización, supervisión predictiva y analítica del estado completo de la red.

| Mediante una interacción conjunta entre el telecontrol y un programa de simulación que tenga modelizada la red de riego y la estación de bombeo es posible monitorizar y planificar las operaciones de gestión, garantizar el correcto funcionamiento del sistema, supervisar el estado de la red en condiciones de operación, prevenir e identificar posibles disfunciones, etcétera.

| Para ello se realiza la simulación del modelo completo del sistema de riego en el estado correspondiente a una determinada configuración de hidrantes abiertos/cerrados suministrando los resultados calculados del estado hidráulico y energético para todos componentes del sistema (bomba, hidrante, tubería, nivel de lámina de agua en balsa, etcétera).

| Los resultados de la simulación permite la supervisión del estado de cada componente detectando disfunciones de forma inmediata si hay discrepancias, más allá de un umbral de tolerancia, con los sensores instalados en puntos de control y transmitidos por el telecontrol: autorizar o inhibir acciones solicitadas; localizar fugas, consumos improprios y obstrucciones; detectar hidrantes programados para regar pero que están cerrados o riegan con una dotación distinta a la prevista; descubrir fallos de la instrumentación o en las comunicaciones, etcétera.

| Ajustar la regulación de los equipos de bombeo para que los parámetros hidráulicos detectados por el telecontrol (leídos en la red de riego) alteren, corrijan o condicionen el funcionamiento de la estación de bombeo: detectar fugas y no suministrar agua a la rotura parando la instalación, cierre automático de hidrantes si la estación de bombeo se para por fallo eléctrico para no vaciar la red y realizar a posteriori un nuevo proceso de llenado de la red con las consiguientes pérdidas de operatividad y energéticas, etcétera.

### Uso de las técnicas de benchmarking

| Análisis y seguimiento continuo de **indicadores de gestión** para caracterizar y evaluar la zona regable mediante técnicas de comparación o de “benchmarking”.

| Los indicadores de gestión se consideran como una herramienta fundamental para determinar la calidad e idoneidad de la gestión llevada a cabo e identificar anomalías, problemas y faltas de eficiencia, y poder así deducir y plantear mejoras y estrategias que repercutirán en la optimización de la gestión integral (agua y energía) de la Comunidad de Regantes.



Telecontrol de hidrante.

# 11. La formación, la concienciación y la información

A continuación se proponen una serie de medidas recomendadas para su aplicación con el objetivo de que los usuarios y principales actores del regadío sean partícipes de la mejora de la eficiencia en el manejo del agua, la energía y las instalaciones, haciéndoles conocedores de las consecuencias que estas actitudes tienen en materia de ahorro energético y de agua.

Otro de los objetivos que se busca al adoptar estas medidas es la eliminación de las barreras existentes en la adopción de estrategias para la reducción de costes energéticos y de consumo de agua en el regadío, como es la desconfianza a la innovación y a la incorporación de tecnologías en el medio rural, la carencia de información de antecedentes, sociología de los regantes...

## Documentación de la instalación

- | Generar un archivo debidamente documentado (papel y digital) de toda la infraestructura que conforma la instalación para mejorar la gestión y el mantenimiento de la misma: proyecto constructivo, proyecto as-built (obra finalizada), fichas técnicas y manuales de los elementos instalados, relación de contactos con las empresas suministradoras...
- | Actualizar el archivo cuando se produzcan cambios, sustituciones, renovaciones, ampliaciones no solo del trazado o características de la red de tuberías, sino también de cualquier elemento hidromecánico, eléctrico, de medición...
- | Incorporación de un sistema de información geográfica (SIG) como apoyo para **gestionar el inventario de la instalación**.

## Documentación de las parcelas

- | Crear una base de datos del censo de parcelas ubicadas inequívocamente en el terreno con su infraestructura colectiva y particular asociada (hidrante, unidades de riego dependientes del hidrante, tipo de amueblamiento, sectores de riego) y sus parámetros de uso (caudal y presión necesaria según la instalación de parcela y sector de riego), cultivos regados y perímetro de riego.
- | Actualización periódica de la base de datos.
- | Inventariado y creación de un SIG vinculada a la base de datos que facilite la **agilidad en consultas** de forma gráfica y alfanumérica, gestión de cupos por cultivo y superficie...

## Documentación de los usuarios

- | Crear una base de datos del censo de regantes con unos requisitos mínimos: datos personales, datos bancarios, identificación de parcelas que maneja, situación contable y facturas, histórico del regante... cumpliendo con la Ley Orgánica de Protección de Datos.
- | Acceso del regante a toda su información con posibilidad de modificar las posibles variaciones para **agilizar la actualización**.

## Información del consumo de agua

- | La utilización eficiente del agua por el regante requiere por su parte, además de una concienciación previa y de unos mínimos incentivos económicos (pago por volumen, penalizaciones por superar cupos establecidos), ser conocedor del consumo de agua del que está haciendo uso en sus cultivos con el objeto de realizar un **seguimiento del balance del agua** a aplicar según la programación del riego diseñada.
- | Aportar a los regantes todos los datos necesarios para lograr una mayor eficiencia en las operaciones de riego (momento y cantidad según el estado del cultivo y el sistema de riego empleado) a través de los técnicos de la Comunidad de Regantes, el gestor de la red, consultoría externa especializada o de los Servicios de Asesoramiento al Regante de la comunidad autónoma correspondiente.
- | El regante debe estar informado del consumo que ha habido en cada riego ya sea por consulta directa en servidor web, visita a la parcela para ver el dial del contador, reporte del gestor mediante mensaje SMS, llamada, o a través de alguna aplicación personalizada al regante para dispositivos móviles (Apps).
- | Proporcionar al regante en su factura una amplia información del uso que está haciendo del agua consumida (véase medidas del apartado 4).

## Formación

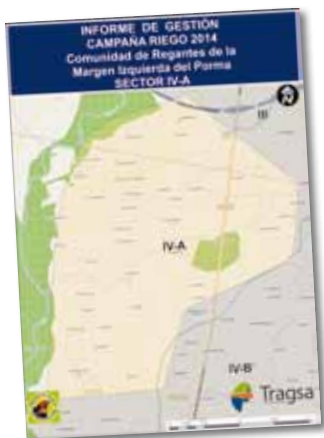
- | La Comunidad de Regantes y los gestores han de contar con personal suficientemente formado, preparado y asesorado para realizar un correcto mantenimiento y seguimiento de las instalaciones para evitar futuros problemas de mayor alcance económico, y poder efectuar una correcta gestión del binomio agua-energía.
- | Realización de **acciones formativas** para regantes, guardas, operarios, gestores, técnicos de la Comunidad de Regantes concretas en:
  - | Técnicas de uso eficiente de la energía en el sector agrario.
  - | Las nuevas tecnologías.
  - | Programación, estrategias y manejo del riego. Conocer y controlar los principales factores que intervienen en el proceso de aplicación del agua según el sistema de riego.
  - | Instalaciones de parcela: sistema que mejor se adapta a cada tipo de cultivo y parcela; recomendaciones prácticas para garantizar una alta uniformidad y eficiencia del sistema de riego; materiales a utilizar; control durante la ejecución de las obras con el fin de realizar de forma correcta el amueblamiento; evaluación en campo del sistema de riego.
  - | Conservación y mantenimiento de las instalaciones particulares y generales.
  - | Estudio de tarifas de agua, electricidad y contratación del suministro eléctrico.
  - | Herramientas informáticas de diversa índole: hoja de cálculo, tratamiento de texto, internet, gestión administrativa, facturación...
  - | Uso adecuado de productos fertilizantes y sanitarios.

## Uso de las tecnologías

- | Fomentar el uso de medios informáticos entre los regantes y tecnologías de información y comunicación, tanto como instrumento de difusión de conocimientos, transferencia de tecnologías y datos, como de interlocución entre los usuarios y sus instituciones (comunicaciones online con los usuarios).
- | Ofrecer servicios de **oficina electrónica** para los comuneros en las que poder consultar toda su información, disponer de avisos personalizados, envío de comunicaciones y recibos, actualizaciones, gestión de las demandas...
- | Apps, como puede ser la visualización *in situ* del valor de la presión o del caudal a la salida del hidrante cuando riega su parcela.

## Comunicación de la información

- | La difusión de novedades técnicas, necesidades de riego, resultados obtenidos en estudios de investigación, ensayos, artículos, legislación, subvenciones, información sobre cursos y servicios de los Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR), publicaciones de diferentes medios especializados... debe de llegar de forma clara para facilitar la comprensión a los usuarios.
- | Fomentar el conocimiento agrario mediante **canales de fácil acceso**: trípticos y boletines divulgativos, breves ponencias y conferencias, charlas y coloquios, reuniones, demostraciones en campo, notificaciones particulares, vídeos demostrativos prácticos que faciliten la visualización del proceso a realizar o la tecnología a aplicar (por ejemplo: evaluación del equipo de riego, operaciones de control, manejo, revisión y mantenimiento de la instalación particular...), internet, radio y televisión local, prensa escrita...



Informe de fin de campaña.

## Participación activa

- | Implicar a los regantes en su importancia como agentes activos de la gestión y organización de las instalaciones colectivas.
- | Agricultores, Comunidades de Regantes y entidades gestoras deben involucrarse y participar en programas de investigación, experimentación e I+D+i de cualquier índole agronómico, hidráulico o energético, y aprovechar los resultados de la investigación.

## Cambios en las costumbres de riego

- | Toma de conciencia por parte de los gestores y de los regantes de la importancia de que **cambiar ciertos hábitos de conducta** puede tener repercusiones beneficiosas en el coste total del consumo energético: riego nocturno, amueblar la parcela con sistemas de baja presión, conocimiento del consumo de los cultivos, cambios en el patrón de riego o en la petición realizada, restricción de uso de horas, etcétera.

## Informe final de campaña

- | Publicar un informe de gestión final de campaña para mostrar de forma transparente los consumos totales de agua y energía, la facturación total y su desglose (términos de energía y potencia, reactiva, excesos de potencia, IVA e impuesto eléctrico), los resultados obtenidos si se han adoptado medidas específicas, incidencias habidas y su resolución, mantenimientos realizados...
- | Exponer en asamblea a todos los usuarios los resultados que recoge el informe de gestión final de campaña.

## 12. Grupo Tragsa: gestión eficiente en regadíos

El Grupo Tragsa dispone de un equipo especializado y con una amplia experiencia en eficiencia energética en regadíos que ha llevado a cabo exhaustivos estudios teóricos y prácticos mediante análisis íntegros de zonas de riego, para tener una visión global del estado actual de la labor relacionada con la gestión y la eficiencia energética de las zonas regables.

Esta experiencia se suma a las existentes en el resto de campos del regadío, lo cual hace que el Grupo Tragsa esté preparado para actuar como gestor único y especializado en las Comunidades de Regantes. Como empresa, puede acometer no solo la redacción de proyecto y la ejecución de la obra de riego con absoluta solvencia, sino además es una empresa capacitada en la realización de las actividades de riego, tanto técnicas como de gestión y administrativas.

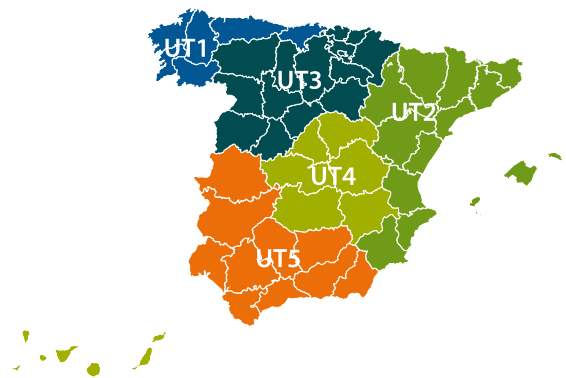
**Como empresa especializada en el diseño y gestión de regadíos, el Grupo Tragsa, mediante la innovación, mejora la eficiencia energética en las zonas regables, simplificando y facilitando el trabajo de sus clientes, consiguiendo una alta calidad de funcionamiento y unos resultados económicos con rentabilidades positivas.**

El Grupo Tragsa es una marca global "Garantía de profesionalidad y servicio público a la sociedad". Con más de 30 años de experiencia, este grupo empresarial está a la vanguardia de los diferentes sectores en los que actúa.

Desde su creación y en toda su trayectoria ha estado vinculado al regadío, tanto en la transformación de nuevas zonas regables como en la modernización de las existentes, aplicando sistemas avanzados de riego y nuevas técnicas de telecontrol y ahorro de agua.

En un momento como el actual, en el que la eficiencia energética y la reducción de la factura eléctrica son las principales preocupaciones de las comunidades de regantes, el Grupo Tragsa juega un papel fundamental en su apuesta continua por la agricultura de regadío, ofreciendo soluciones a través de su talento y compromiso.

La distribución nacional de la compañía, que cuenta con delegaciones en todas las provincias de las 17 comunidades autónomas españolas, le permite responder con rapidez y eficacia ante cualquier gestión, adaptándose a las necesidades requeridas.



- Unidad Territorial Noroeste (UT1): Galicia, Asturias y Cantabria.
- Unidad Territorial Este (UT2): Valencia, Aragón, Baleares, Cataluña y Murcia.
- Unidad Territorial Norte (UT3): Castilla y León, La Rioja, Navarra y País Vasco.
- Unidad Territorial Centro y Canarias (UT4): Castilla-La Mancha, Canarias y Madrid.
- Unidad Territorial Suroeste (UT5): Andalucía y Extremadura.





Maldonado, 58  
28006 Madrid  
España  
Tel.: 91 396 34 00

[informacion@tragsa.es](mailto:informacion@tragsa.es)  
[www.tragsa.es](http://www.tragsa.es)

