

ANEJO 14

SISTEMA DE TELECONTROL

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA DE TELECONTROL..... | 1 |
| 3. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE CONTROL . | 1 |
| 4. COMPONENTES DEL SISTEMA DE TELECONTROL..... | 2 |
| 4.1. Centro de control | 2 |
| 4.2. Software de Control y Supervisión de la Red de Riego | 2 |
| 4.2.1 Características de los componentes del Software..... | 3 |
| 4.3. Software de gestión administrativa | 4 |
| 5. RED DE COMUNICACIONES | 4 |
| 5.1. Topología de la red | 4 |
| 6. FRONTAL DE COMUNICACIONES | 5 |
| 7. AUTÓMATAS PROGRAMABLES..... | 5 |
| 7.1. Equipos de instrumentación | 9 |
| 8. INTEROPERABILIDAD | 10 |
| 9. APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LAS REDES DE RIEGO. eNLACE CON EL SISTEMA DE TELECONTROL PROPUESTO | 11 |
| 9.1. Introducción | 12 |
| 9.2. Uso del Telecontrol y la Inteligencia Artificial para el uso eficiente de la energía y del agua | 13 |
| 9.3. Eficiencia energética en la bomba y en la instalación de riego | 14 |
| 9.4. Plataforma de integración y gestión de la información..... | 15 |
| 9.5. Conclusiones..... | 18 |

Índice de Tablas

| | |
|---|---|
| Tabla 1. Autómatas, ubicación y elementos a telecontrolar | 6 |
|---|---|

Tabla de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Topología general de la red de comunicaciones vía radio. | 5 |
| Figura 2. Niveles y componentes de una arquitectura interoperable..... | 11 |

1. INTRODUCCIÓN

El presente anejo tiene como finalidad la implantación del sistema de telecontrol que permitirá el control, gestión y monitorización de las impulsiones e instalación de acumulación de agua incluidas en el ámbito del Proyecto “**ACTUALIZACIÓN Y MEJORA DE LA RED DE RIEGO DEL GOLFO, T.M. DE FRONTERA, ISLA DE EL HIERRO**”.

2. ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA DE TELECONTROL

El sistema de telecontrol objeto del presente proyecto se basa en un sistema de comunicaciones por radiofrecuencia, distribuyendo los elementos de telecontrol (autómatas programables) en los distintos elementos a controlar, dotándolos de inteligencia y total autonomía en caso de perder temporalmente la comunicación con el centro de control.

Dicho sistema consta de los siguientes elementos:

- Centro de control de la red (CCU), punto central de control, gestión y monitorización del estado de la red de riego. En este punto se ubica el frontal de comunicaciones vía Radio (FC).
- Centro de control secundario, dedicado a control de la impulsión procedente de la EDAM, ubicado en el interior de la EDAM.
- Autómatas programables con interconexión a los cuadros PLC para gestionar y comandar los eventos generados en el sistema de bombeo de la EDAM y en los depósitos de agua, para la adquisición de pulsos de caudalímetros y cálculo de caudales, así como la medición del nivel de agua y sensores de presión.
- Sistema de comunicación que une los distintos puntos que conforman la red de telecontrol y el CCU.
- PC cliente necesario para el visionado, control y modificación tanto del software de control SCADA como del software de gestión.
- Hardware (equipos informáticos, periféricos, etc.) y software para el tratamiento y gestión de datos, de sistemas de alarma, de mensajes y avisos configurables, así como de las operaciones de mando y control sobre los equipos de medida y electromecánicos ubicados en todos los puntos de la red.

3. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE CONTROL

El sistema de telecontrol cuenta con la red de comunicaciones:

- **Red Wimax** (radio por microondas), encargada de tener en una red de tipo WAN, todos los autómatas programables y comunicarlos con el Centro de Control.

Con esta solución se puede implementar una estrategia de comunicaciones en “tiempo real”, con refresco inmediato del estado de la red, en la aplicación SCADA del Centro de Control (en el orden de unos pocos segundos). Las órdenes de telemando emitidas desde el Centro de Control también serán ejecutadas en tiempo real. Las alarmas y eventos generados se transmiten también inmediatamente hacia el Centro de Control.

La red de alta consiste en un conjunto de autómatas programables ubicados en las estaciones de bombeo, la balsa y el depósito, de manera que controlen tanto caudales, sensores de nivel y

presión, como la parada y arranque de las bombas. Irán interconectados al correspondiente cuadro PLC a través de cable.

4. COMPONENTES DEL SISTEMA DE TELECONTROL

4.1. Centro de control

Los elementos necesarios para controlar la red de alta se ubicarán en la EDAM, desde donde se realizará la monitorización.

En el centro de control se instalará 1 estación de trabajo y 1 pantalla para la visualización y gestión de los elementos de la red de alta.

4.2. Software de Control y Supervisión de la Red de Riego

El software de control de la red de riego está basado en entorno Windows. Su objetivo principal es la supervisión del estado de la red, ofreciendo información sobre el estado de las válvulas, sensores de presión, niveles, etcétera. Dispone de una interfaz de usuario (SCADA) en el cual se muestran los autómatas programables.

Este software muestra el estado de los autómatas y de las comunicaciones mediante el empleo de una codificación por código de colores. También se muestra información del caudal circulado, acumulado, niveles, presiones y demás variables que puedan resultar de interés para la correcta supervisión de la red y la detección de errores. En este sentido se posee un apartado de gestión de alarmas, pudiendo enviar sms a los usuarios configurados para informarles sobre ciertas incidencias, tales como caudales inapropiados, presiones o niveles extremos y demás información que pueda afectar al correcto funcionamiento.

Se dispone de una herramienta para configurar los autómatas a las características de los elementos a controlar.

Las características generales de esta aplicación son:

- Establecimiento de enlace de datos vía radio entre el Frontal de Comunicaciones y los autómatas programables.
- Mantenimiento de los ficheros maestros de la instalación (parámetros generales, sensores, alarmas, ...).
- Restricción de acceso mediante sistema multiclave, configurable por el usuario.
- Configuración remota (desde el Centro de Control) de, autómatas, eventos y alarmas.
- Representación de información detallada de cada autómata, indicando su identificador, estado, alarmas, datos de diseño, caudal instantáneo, etc.
- Representación de los valores de los distintos sensores instalados en la red: niveles, presiones, etc.
- Representación gráfica histórica de las principales variables (presión, nivel, caudal y acumulado) configurable por el usuario mediante selección de periodo entre fechas y la remota o sensor seleccionado. Posibilidad de relacionar gráficas entre sí para, por ejemplo, poder representar el flujo de caudal de todo un bajante o parte del mismo.

- Representación geolocalizada sobre un mapa de los autómatas instalados, visualizando el valor de las principales variables asociadas, así como la indicación por código de colores de su estado.
- Maniobra directa (apertura y cierre) de las válvulas suscritas.
- Volcado y almacenamiento de los ficheros históricos de caudales y acumulados, contadores y los valores analógicos de los sensores de nivel y presión realizado por el servidor OPC.
- Posibilidad de incorporar mapas de sectores en formato de intercambio Autocad (.dxf).
- Gestión de alarmas configurable por el usuario (señales de alarma y sus umbrales).
- Representación de listado de alarmas, con posibilidad de ordenación y filtrado por fechas o remota y exportable a Excel.
- Representación de listado de órdenes y eventos, con posibilidad de ordenación y filtrado por fechas o remota y exportable a Excel.

4.2.1 Características de los componentes del Software.

El software de control y supervisión de la red está compuesto de al menos los siguientes módulos:

- Servidor OPC.
- Interfaz gráfica.
- Módulo de históricos
- Módulo de visualización en web.

El separar las distintas acciones a realizar en diferentes módulos aporta una mayor fiabilidad al sistema otorgándole además una mayor independencia de las acciones realizadas por los operarios.

El Server (servidor) OPC es el programa encargado de comunicar con los autómatas programables del sistema.

Al incorporar un servidor OPC en el sistema, se dota de una total transparencia en lo que a comunicaciones se refiere, evitando interferir en cuestiones relacionadas con la obtención de la información. El servidor OPC es el encargado de obtener la información para luego entregársela a los otros módulos enlazados con él. Esto agrega una característica fundamental al sistema: es totalmente escalable. Esto significa que permite agregar nuevos dispositivos y redes al sistema, incluso si poseen protocolos de comunicaciones distintos a los ya instalados.

El software SCADA muestra en forma de listado todos los autómatas dados de alta, permite la supervisión de los mismos. Se trata de una interfaz de comunicaciones sencilla y amigable entre el hardware instalado y el usuario, fácil de gestionar y que aporte información fundamental para la correcta monitorización y control de la red.

El módulo de históricos permite la visualización gráfica de los históricos de las variables analógicas del sistema (presiones y niveles) en rangos de tiempo configurables. Además, se permite enlazar unas gráficas con otras. Esto permite un mayor control y otorga una mayor fiabilidad ya que se puede emplear para la detección de fugas o malfuncionamiento de la red.

El módulo de visualización en entorno web se basa en la geolocalización de los autómatas sobre un mapa de la zona. Son representados con un código de colores atendiendo a su estado o a la existencia de fallos en las comunicaciones. De esta manera se puede conocer el estado de la red de manera rápida y sencilla con una simple visual del mapa.

4.3. Software de gestión administrativa

El software de gestión administrativa complementa al software de control de la red de riego, dispone de las siguientes funciones básicas:

- Gestión y registro de los socios de la Comunidad de Regantes.
- Gestión y registro de las fincas que componen la red de riego.
- Facturación automática por uso.
- Realización de los asientos contables exportables.
- Gestión de recibos.
- Seguimiento de cobros.
- Gestión de sms

5. RED DE COMUNICACIONES

5.1. Topología de la red

La red de comunicaciones permite la interconexión del Centro de Control y de los autómatas programables, posee las siguientes características:

- Se opta por radiofrecuencia frente a cobertura móvil, principalmente por las deficiencias en cuanto a la señal de cobertura en la zona. En términos generales resulta más interesante el uso de radiofrecuencia en banda libre (169-433-868), siempre que se cubran las distancias necesarias (aceptando técnicas como modulación Lora, enrutamientos, ...).
- A través del frontal de comunicaciones, se envían las órdenes de lectura y/o escrituras pertinentes.

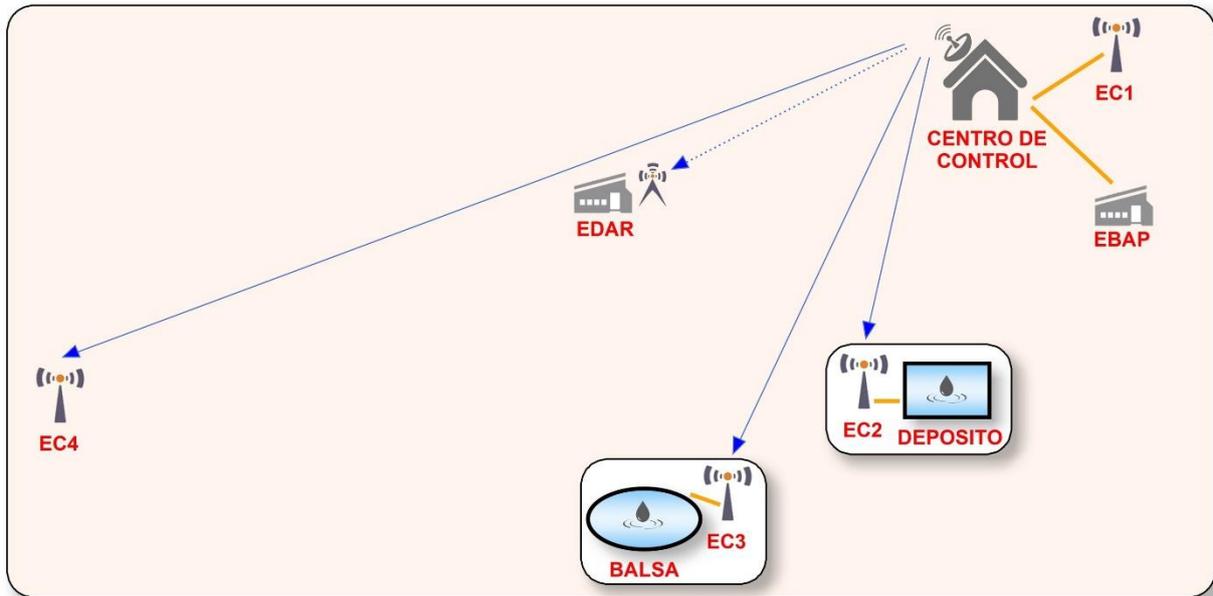


Figura 1. Topología general de la red de comunicaciones vía radio.

6. FRONTAL DE COMUNICACIONES

El Frontal de Comunicaciones se comportará como un vector o enlace entre el centro de control y los autómatas mediante enlace radio por Wimax. En el sistema de telecontrol del presente proyecto el Frontal de Comunicaciones se comportará de una manera transparente a modo de autopista de comunicación.

En el Centro de Control principal existirá un FC y se compondrá de los siguientes elementos:

- Estación Base Wimax con antena sectorial.
- Conexión entre antena, ordenador, router y estación de bombeo mediante cable Ethernet.

7. AUTÓMATAS PROGRAMABLES

Un autómata programable es un equipo electrónico programable en lenguaje informático, diseñado para controlar en tiempo real y en un ambiente desfavorable sistemas, como el de una red de abastecimiento, sin interrumpir su modo de funcionamiento continuo.

El autómata a instalar deberá cumplir, al menos, las siguientes condiciones:

- Compatibilidad con el sistema de transmisión de datos.
- Recepción de las diferentes consignas y ejecución en el momento determinado.
- Fiabilidad en condiciones extremas de temperatura y humedad.
- Alta disponibilidad de repuestos.

Las funciones de dichos autómatas son:

- Integración de las señales digitales y analógicas procedentes de la instrumentación (caudalímetros, sensores de nivel y sensores de presión), acondicionamiento y transferencia para disposición de la CPU.
- Integración de las señales de maniobra, acondicionamiento y transferencia para disposición de la CPU.
- Respuesta, en base al protocolo del fabricante, y transmisión de la matriz de datos elaborados.
- Recepción de los parámetros de funcionamiento.

Dispondrá de entradas digitales y analógicas con capacidad de provocar interrupciones al autómata programable y en número suficiente para las necesidades de cada punto, con un margen para ampliaciones. Contará con capacidad de memoria de datos muy superior a la necesaria para almacenar los datos actuales.

En la siguiente tabla se lista el número de entradas de cada uno de los autómatas en función de dónde se localizan y los elementos que telecontrolar:

Tabla 1. Autómatas, ubicación y elementos a telecontrolar

| Ubicación | Elementos a controlar |
|--------------------------|--|
| EDAM | - 1 caudalímetro - 2 bombas |
| EBAP Los Polvillos | - 1 caudalímetro - 2 bombas |
| Balsa | - 1 caudalímetro |
| Depósito de Fátima (DAR) | - 1 caudalímetro - 2 electroválvulas - 1 sensor de nivel |

Será el PLC el que tome las decisiones de realizar las maniobras de manera automática en función de los cambios de estado de las diferentes entradas.

En este caso todos los enclavamientos que intervienen son lógicos (excepto las protecciones). Si falla uno de los grupos en servicio arrancará en su lugar el grupo de reserva. Al anularse la causa de la alarma volverá a arrancar el grupo sustituido. Los grupos disponibles se rotarán de forma cíclica en sus arranques y paradas. La regulación de las bombas con variadores de frecuencia se estudiará para conseguir el menor coste energético.

Funcionamiento automático

Los sistemas electrónicos y electromecánicos de la instalación serán controlados por un autómata programable. Un fallo a este nivel dejará en funcionamiento el ciclo de protección. Este fallo debe ser conocido inmediatamente en el centro de control y dar origen a una respuesta humana cualificada para resolver el problema, sin que se produzcan daños de mayor calado.

El sistema de control incluirá autómatas programables de las siguientes características generales:

- A. Unidad central de proceso (CPU).
- B. Módulos de comunicaciones.
- C. Módulo de entradas analógicas 4-20 mA.
- D. Módulos de entradas digitales 24 Vcc.
- E. Módulos de salidas digitales a relé
- F. Módulos de salidas analógicas 4-20 mA.

Estos autómatas programables tendrán a su cargo el funcionamiento en modo automático de la estación de bombeo en función del nivel de agua existente tanto en la balsa como en el depósito de agua de riego.

Modo de funcionamiento normal

Los PLC son concebidos como entes autónomos, capaces de funcionar aisladamente o en comunicación con otros PLC o con el centro de control. Para cada uno de los PLC se incluye un selector «local/remoto» que habilita/deshabilita el mando desde el centro de control, es decir, la recepción de órdenes y cambios de consignas, de manera que cuando este selector se encuentre en la posición local inhibirá la ejecución de los comandos enviados desde el centro de control. Sin embargo, sí se transmitirán todos los cambios que se produzcan al centro de control, quedándose reflejados en el SCADA. Localmente también se podrá operar sobre cualquier elemento.

Cuando el selector se encuentre en posición «AUT» (automático) el PLC recibirá y atenderá las órdenes y cambios de consigna guardados en su memoria. Estos datos habrán sido programados previamente, bien de forma remota desde el centro de control o bien de forma local.

Los PLC deberán tener capacidad para gestionar y transmitir distintas alarmas al centro de control. Dispondrán de entradas digitales y analógicas suficientes para conectar los sensores e instrumentación correspondiente a cada tipo de alarma.

Otras características técnicas son:

CPU:

- Memoria de trabajo 4 MB:
 - para programa: 1 MB
 - para datos: 3 MB
- Memoria de carga externa: 32 GB para backup. En esta memoria se almacenarán los ficheros generados de cada ensayo para su envío al PC/servidor del centro de control. Una vez finalizado cada ensayo, además de almacenarse en la memoria externa de backup del autómata, el archivo generado se enviará automáticamente al PC/servidor, manteniéndose también en dicha memoria externa. Los ficheros generados en cada

ensayo serán fácilmente accesibles por el usuario final y se presentarán en un documento con formato común de software ofimático.

- Número de E/S (bytes) totales tanto digitales como analógicas aceptada por la CPU suficientes para el control de cada uno de los ensayos, estación de bombeo y comunicaciones.
- Arquitectura modular y escalable a base de tarjetas conectables en las ranuras del bastidor.
- Puerto serie para programación incorporado en la CPU.
- Puerto de comunicación Ethernet para red local.
- Programación estructurada mediante tareas independientes, con soporte de datos según especificación IEC 61131.
- Programación mediante etiquetas internas independientes de la localización física de E/S.
- Almacenamiento de etiquetas y comentarios en memoria del autómata.
- Lenguaje de programación aceptados: LD, SFC, FBD, ST, IL.
- Regulador PID universal con optimización integrada.
- Protección de acceso implementado.
- Dispondrá de un juego de instrucciones del tipo:

- Booleanas: contacto abierto y cerrado, flanco de subida y de bajada, negación.
- Temporizadores y contadores: temporizado a la conexión y desconexión (desde 1 ms), contador arriba y abajo.
- Comparaciones: =, >=, <=, <, <>, límites....
- Matemáticas básicas: suma, resta, multiplicación, división, raíz cuadrada, valor absoluto...
- Matemáticas avanzadas: elevación a potencias, logaritmos...
- Trigonométricas: coseno, seno, tangente, arco coseno, arco seno...
- Lógicas y de desplazamiento: and, or, xor, desplazamiento...
- Control de programa: salto condicional e incondicional, salto a subrutina...
- Especiales (PID) y de mensajería.
- Capacidad para manejo de matrices tridimensionales de datos y estructuras de datos definidas por el usuario.

Entradas digitales:

- Módulos de ED de 24 VDC, con led frontal de indicación de estado.
- Conexión del cableado mediante cable preconectado y bornero.
- Protección contra polaridad inversa incorporada.
- Indicación de estado y defectos adicional por software.
- Filtro a la activación y a la desactivación.
- Tiempo de retardo inferior a 1 ms a la activación y 2 ms a la desactivación.

Salidas digitales:

- Módulos de SD de 24 VDC, con led frontal de indicación de estado.
- Conexión del cableado mediante cables preconectados y bornero con relé
- Indicación de estado y defectos adicional por software
- Tiempo de retardo inferior a 1 ms a la conexión y a la desconexión.

Entradas analógicas:

- Módulos de EA de 24 VDC, con led frontal de indicación de estado y preparadas para soportar comunicación HART (con comunicación HART hasta los equipos extraíbles).
- Conexión del cableado mediante bloques de terminales extraíbles.
- Indicación de estado y defectos adicional por software.
- Configurable por canal para 0-20 mA, 0-5 V, 0-10 V y +10 -10 V.
- Escalado de cuentas a unidades de ingeniería, calibración (ajuste de ganancia y offset) por software.
- Filtro digital por canal y en frecuencia por módulo.
- Alarmas predefinidas por software.
- Precisión mejor que 0,05 % del rango para medida en tensión o 0,15 % de rango para medida en intensidad a 25 °C.
- Resolución hasta 16 bits y tiempo de conversión inferior a 1 ms/canal.

Salidas analógicas:

- Módulos de SA de 24 VDC, con led frontal de indicación de estado.
- Conexión del cableado mediante bloques de terminales extraíbles.
- Indicación de estado y defectos adicional por software.
- Configurable por canal para 0-20 mA y +10 -10 V.
- Escalado de cuentas a unidades de ingeniería, calibración (ajuste de ganancia y offset) por software.
- Filtro digital por canal y en frecuencia por módulo.
- Alarmas predefinidas por software.
- Precisión mejor que 0,05 % del rango para salida en tensión o en intensidad a 25 °C.
- Resolución hasta 15 bits.
- Tiempo de conversión incluso inferior a 1,5 ms/canal.

El equipo de control (PLC) deberá poder programarse en cualquiera de los lenguajes reflejados en la norma IEC 1131.

- Posibilitará la reprogramación remota de la aplicación.
- Permitirá el uso de bloques funcionales.
- Dispondrá de herramientas para la definición de protocolos de comunicación.

El programa del equipo de control (PLC) se dejará abierto para futuras ampliaciones. El código fuente del programa del PLC será entregado en formato digital y papel, así como toda la documentación de los elementos instalados y probados.

Se facilitará el software necesario para poder visualizar el programa del PLC, así como poder programar y comprobar el PLC.

7.1. Equipos de instrumentación

Los equipos que se controlarán a través de los autómatas son lo que se listan a continuación:

- Sensor de nivel.
- Transmisor de presión.
- Caudalímetros electromagnético (los caudalímetros ya instalados en distintos puntos son marca Siemens Serie 5000)

8. INTEROPERABILIDAD

La implementación de la interfaz interoperable para los sistemas de telecontrol se encuentra especificada en el proyecto de la norma UNE 318002-3 «Técnicas de riego. Telecontrol de zonas regables. Parte 3: Interoperabilidad» que está siendo elaborada por el grupo de trabajo GT3-Telecontrol del comité técnico de normalización CTN 318-Riegos de la Asociación Española de Normalización (UNE). Esta implementación estará ajustada a las especificaciones del proyecto de la norma UNE 318002-3 contenidas en su Anexo B «Interfaz de subsistemas con SOAP 1.2», si se realiza con protocolo SOAP 1.2, o a las contenidas en su Anexo G «Interfaz de subsistemas con REST», si se realiza con protocolo REST.

Este estándar establece las directrices para la interoperabilidad entre los sistemas desarrollados para la gestión y/o control de las instalaciones de riego. La norma puede ser aplicada bajo cualquier plataforma tecnológica y en cualquier tipo de sistema de riego, independientemente del esquema de gestión del agua (público o privado, individual o colectivo).

Este estándar no define los requisitos de *hardware* o *software* para ninguno de los sistemas a los que se aplica. Solo se refiere a interfaces de acceso, sin restricciones sobre las implementaciones subyacentes. El estándar ha sido diseñado para evitar interferencias con soluciones propietarias sujetas a propiedad intelectual. Para garantizar la interoperabilidad basada en estas premisas, el estándar define tres interfaces de comunicación (Interfaz de Gestión, Interfaz de Eventos e Interfaz con Subsistemas) y la arquitectura sobre la que aplican estas interfaces. Se requieren tres niveles de arquitectura para acomodar las interfaces:

- El nivel de gestión, donde se ubicará cualquier MIS que cumpla con la norma. De todos los métodos disponibles, cada MIS solo implementará aquellos que sean necesarios para ejecutar sus funcionalidades.
- El nivel de control superior: coordinación. Este elemento de *software* (el bróker de coordinación) actúa como enlace entre las aplicaciones MIS y los subsistemas de control. Todos los métodos deben estar a disposición del Bróker de Coordinación para garantizar la correcta ejecución de sus tareas.
- El nivel de control inferior: RMCS. Estos también pueden denominarse subsistemas de riego. Son soluciones comerciales completas (*hardware* y *software*) diseñadas para controlar ciertas entidades de riego. Cada subsistema debe implementar los métodos necesarios para realizar las tareas de la entidad o entidades de riego que controla.

La interacción entre el lenguaje establecido y los cambios propuestos por el estándar para la arquitectura, proporciona interoperabilidad entre aplicaciones de gestión (MIS por sus siglas en inglés) y los sistemas de monitorización y control (RMCS), garantizando su independencia y el intercambio de información estandarizada.

Tanto la aplicación de control SCADA como la aplicación de gestión estarán implementadas para cumplir la norma de interoperabilidad UNE 318002-3 «Técnicas de riego. Telecontrol de zonas regables. Parte 3: Interoperabilidad».

La aplicación de control SCADA estará siempre aguas abajo del bróker de coordinación (en adelante, coordinador) y quedará implementada para comunicar con él, sea este coordinador instalado en la obra o no.

Sin embargo, la aplicación de gestión podrá implementarse bien aguas abajo del coordinador (en caso de no instalarse un coordinador) o bien aguas arriba del mismo (en caso de que sí se instale un coordinador), pero siempre implementada para comunicar con el coordinador según la norma descrita anteriormente.

Los niveles y componentes de una arquitectura interoperable quedan definidos en el siguiente esquema:

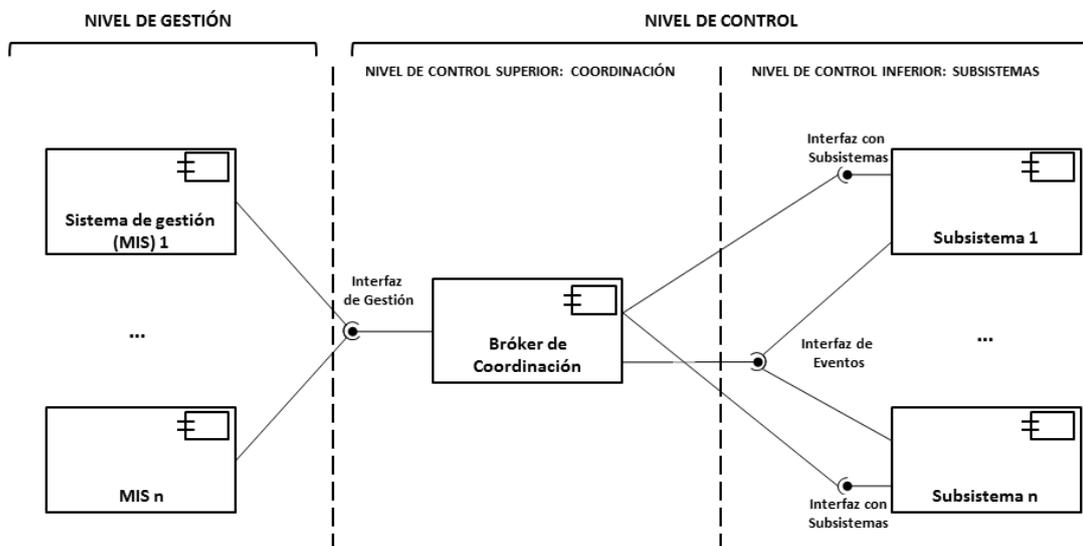


Figura 2. Niveles y componentes de una arquitectura interoperable

Si no se ha tenido acceso previamente a los documentos del borrador, pueden obtenerse mediante la inscripción como expertos en el CTN318-Riegos de UNE y solicitar la última versión de los documentos de la parte 3 del borrador del estándar ISO 21622 y del borrador de la norma UNE 318002-3.

9. APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LAS REDES DE RIEGO. ENLACE CON EL SISTEMA DE TELECONTROL PROPUESTO

9.1. Introducción

Los usos del agua suponen consumos de energía y viceversa y este binomio, agua-energía, es protagonista en la agricultura. La tecnificación e industrialización de la agricultura ha hecho que el consumo energético de ésta haya aumentado anualmente y, aunque es cierto que el uso de tecnificación (sistemas de telecontrol y automatización) ha comenzado a tener en cuenta el uso eficiente del agua, no ha sido así para el uso de la energía.

El 70% de todas las aguas extraídas de los ríos, lagos y acuíferos se utilizan para el riego conforme cita el ODS 6, luego propiciar el uso eficiente de los recursos hídricos y energéticos en todos los sectores es necesario en aras de fomentar la sostenibilidad medioambiental. Por todo ello, es necesario aplicar medidas en este sector de cara a realizar un uso eficiente de la energía y del agua, así como implantar prácticas que no degraden los suelos y el medio ambiente.

En la agricultura de regadío el binomio agua-energía está muy presente siendo, además, un sector que tendrá enormes desafíos frente al cambio climático tanto por el consumo de combustibles fósiles que implica como por su capacidad para adaptarse a la escasez de agua y a un planeta cada vez más cálido. La tecnificación del regadío es fundamental en la gestión del agua. Las infraestructuras de regulación del agua tendrán un papel importante tanto en el regadío como en la gestión de la demanda que apoyará a las energías renovables. La coordinación entre infraestructuras de agua, gestión de la demanda, almacenamiento y los sistemas de regadío coordinados tendrán un papel importante en la transición energética.

El regadío debe modernizarse y aplicar mecanismos que no sólo le permitan su adaptación al cambio climático, sino, a su vez, mitigarlo con el empleo de energías renovables y un uso sostenible del agua y el suelo, manteniendo su importancia económica y de fuente de empleo. De este modo, conseguiremos una adecuada gestión y ordenación del territorio, la fijación de la población rural y mejoraremos sustancialmente la sostenibilidad medioambiental.

El aumento en la eficiencia del uso del agua en los últimos años y las modernizaciones de los sistemas, así como la elección de cultivos más eficientes hídricamente y más competitivos en los mercados, han implicado un aumento de los consumos energéticos en la agricultura.

Es necesario, por tanto, llegar a un punto de equilibrio, para que la eficiencia en el uso de agua no conlleve un aumento significativo del consumo energético y por lo tanto se consiga, mediante la tecnología moderna (telecontrol e Inteligencia Artificial), un uso eficiente también de la energía. El sector de la agricultura requiere de una modernización de sus regadíos a través de nuevos métodos de gestión del agua y mediante la incorporación de nuevas tecnologías que garanticen la sostenibilidad de los recursos hídricos mediante una gestión del agua eficiente, inteligente y equitativa. En definitiva, se podría decir que la modernización de regadío es un instrumento de política que busca, fundamentalmente, el uso más eficiente del agua.

No ajeno a esto, el *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia*, presentado por el Gobierno de España a la Comisión Europea, incluye el Componente 3, denominado *Transformación Ambiental y Digital del sector agroalimentario y pesquero* y dentro de este componente se engloba la inversión C3.11. *Plan para la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad en regadíos, a cargo del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia para inversiones en modernización de regadíos sostenibles*, cuyo objetivo es fomentar el ahorro del agua y la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad energética en los regadíos españoles.

De esta forma y con estas inversiones, se pondrán poner a disposición de los regantes sistemas de riego más eficientes para poder cumplir así con los objetivos de este Plan.

Recientemente el Ministro de Agricultura, Pesca y Alimentación citó que “La sostenibilidad pasa por el puente de la innovación”, y la frase no puede encajar mejor que en este contexto de transformación digital en la gestión de los sistemas de riego como elemento innovador y herramienta básica para lograr una productividad sostenible.

9.2. *Uso del Telecontrol y la Inteligencia Artificial para el uso eficiente de la energía y del agua*

En términos puramente agrícolas, el primer paso, antes de proceder a la siembra, es la preparación de la tierra para que esta adquiera los nutrientes y la humedad adecuadas, de modo que pueda absorber la cantidad de agua necesaria para el correcto crecimiento de la planta. En esta etapa, si son necesarios, también se aplican herbicidas, fertilizantes o plaguicidas.

En este sentido, la sensorización, el telecontrol y la automatización de la red de distribución, puede aportar uno de los principales métodos para el uso eficiente de la energía y el agua.

Agricultura de precisión.

Podemos definir este tipo de agricultura como, un tipo de preparación del suelo más moderno en el que se realizan estudios de las condiciones ideales del suelo, de los productos químicos a utilizar, de las semillas más idóneas, etc. Se estudia el potencial de los suelos en función de sus características, así como el crecimiento de la planta una vez se inicia. De esta forma, se controlan las cantidades adecuadas de fertilizantes en función del potencial del suelo, cómo se deberá cosechar de forma adecuada o cómo evitar la maleza o las plagas con la dosificación de productos químicos.

Controlando pues, las necesidades hídricas de la planta, así como el estado real del suelo en cuanto a fertilizantes y tomando los valores correspondientes (uso del Big Data) de los últimos “n” años, se podrá realizar la **gestión, procesamiento o análisis mediante tecnologías y herramientas desarrolladas para tal fin** y de esta forma, poder definir la dotación real tanto de agua como de los fertilizantes necesarios para cada tipo de agricultura, optimizando de este modo la eficiencia en el uso del agua y de la energía.

Para ello, es necesario instalar en campo la sensorización necesaria que proporcione los datos correspondientes de los parámetros determinantes para conocer el estado real del suelo y de la planta. Además de estos sensores, se introducirá también el uso de imágenes satelitales que pueden proporcionar valores aproximados del estado de las plantas, del suelo, así como de predicciones meteorológicas de las condiciones climáticas a corto plazo (proporcionadas por estaciones meteorológicas y satelitales).

Por tanto, una vez conocidos estos valores y mediante la aplicación de los algoritmos correspondientes, en virtud de las necesidades hídricas y el estado real de la planta, los retos de la Inteligencia Artificial son los siguientes:

- Producir más con menos. Conseguir abastecer a una población cada vez mayor de forma sostenible y eficiente, económica y energéticamente.

- Cambio climático. Contribuir a la mitigación de los efectos del cambio climático y de sus consecuencias, a las que es un sector muy vulnerable, así como adaptarse a las que ya se están produciendo.
- Eficiencia hídrica. Perfeccionar los sistemas de riego e infraestructuras realizando un consumo eficiente del agua, cada vez menos disponible y reducir el volumen de ANR (Agua No Registrada).
- Eficiencia energética. La tecnificación y la mejora en los sistemas de regadío para una gestión eficiente de las redes de distribución y un consumo eficiente del agua implica una reducción del consumo energético y, consecuentemente, de los costes.
- Transición ecológica y cumplimiento de ODS. La sostenibilidad de los sistemas de riego permitirá optimizar la producción y el uso de la energía, contribuyendo al trabajo decente y al crecimiento económico, actuando además como medida para combatir el cambio climático, la preservación de los ecosistemas hídricos y su diversidad biológica.

9.3. Eficiencia energética en la bomba y en la instalación de riego

Los sistemas de riego necesitan energía para realizar una correcta distribución del agua sobre la superficie a regar, que es aportada, salvo en sistemas por gravedad, mediante instalaciones de impulsión.

Las condiciones en las que trabajan los equipos electromecánicos, su rendimiento, el adecuado diseño del sistema de riego, así como el dimensionado del sistema influirán tanto en la energía consumida como en la cantidad de agua impulsada.

- **Eficiencia energética en la red de riego.** La eficiencia energética es la relación entre la energía demandada por el sistema de riego y la aportada por el sistema de bombeo. Es importante evitar malos diseños en las subunidades de riego, evitando grandes diferencias de presión entre dos puntos. Comúnmente se disminuyen los diámetros de las conducciones de riego para reducir la inversión, pero esto provoca grandes pérdidas de carga, lo que se traduce, a su vez, en pérdidas energéticas. Tuberías con el tamaño adecuado requieren una mayor inversión inicial, pero, a largo plazo, supondrán un menor coste energético. Se debe prestar atención a todos los elementos de la red de riego como las válvulas, los contadores, los filtros, los emisores y los codos, realizando un adecuado mantenimiento y limpieza. Otro fallo común es utilizar válvulas para la regulación del caudal de la bomba con cierre parcial de estas, lo que supone pérdidas de energía. Utilizar equipos de bombeo en paralelo o con variadores de frecuencia para poder prestar caudales variables según las necesidades de cada sector de riego, son sistemas mucho más eficientes.

- **Eficiencia en el sistema de impulsión.** La eficiencia energética en los sistemas de impulsión se divide en la eficiencia del grupo motor-bomba y la de la instalación eléctrica.

En cuanto al grupo motor-bomba el rendimiento de los motores, que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, en grupos de bombeo de gran tamaño suele estar entre el 90% y 95% mientras que el rendimiento de la bomba, que transforma energía mecánica en hidráulica, suele estar entre un 70% y 80%. Por debajo de estos porcentajes en equipos de bombeo más

pequeños. Así, los rendimientos del grupo motor-bomba no suelen superar valores de eficiencia del 70%. Las bombas tienen una curva de diseño en la que se indica el rendimiento que se obtendrá según las características de funcionamiento, por eso en el diseño es importante tener en cuenta la curva característica de funcionamiento para que el grupo motor-bomba trabaje al máximo rendimiento posible en la zona óptima, evitando los sobredimensionamientos del grupo.

Además de realizar un buen dimensionamiento del equipo de bombeo necesario, siempre se debe prestar atención a su mantenimiento para lo cual es importante que el equipo trabaje siempre en el entorno de su máximo rendimiento. Hay que tener en cuenta el desgaste de los rodets, la existencia de fugas en la bomba o en la columna de impulsión y el descenso del nivel dinámico del sondeo.

- **Eficiencia hídrica de las redes de distribución.** La eficiencia hídrica no implica únicamente el uso racional de un recurso natural no renovable como es el Agua. Además de hacer un uso eficiente del recurso, es necesario sensorizar las redes de distribución y minimizar el ANR (volumen de Agua No Registrada) mediante la monitorización en tiempo real de las redes y la aplicación de algoritmos para el cálculo de balances hidráulicos a distintos niveles jerárquicos de la red. Además, la inteligencia artificial nos permitirá definir patrones de consumo y de comportamiento de la red hidráulica a partir de los cuales detectar precozmente cualquier anomalía y reducir el ANR.

Esta reducción del volumen de Agua No Registrada es directamente proporcional a la reducción de la energía necesaria para captar esa agua, elevarla o impulsarla a la propia red.

9.4. Plataforma de integración y gestión de la información

Una vez identificados y analizados los retos a los que nos enfrentamos en las redes de distribución de la red de riego, es necesaria la implantación de un entorno digital único y transversal a todas las operaciones, proporcionando una visión integral y global de sus instalaciones que permita la transformación digital en la gestión de los sistemas de riego.

Es necesario implementar la sensorización adecuada tanto en las aducciones o redes en alta, como en las redes en baja o de distribución, lo que permitirá monitorizar cada uno de los activos desplegados, en tiempo real, y mediante las plataformas tecnológicas correspondientes recopilar los datos necesarios con los que aplicar Inteligencia Artificial y *machine learning* para la gestión del sistema.

En alta, se precisan sistemas inalámbricos que sean muy flexibles en su topología para que puedan adaptarse fácilmente a cualquier instalación o a cualquier medio. Las redes de alta deben estar gestionadas por autómatas programables y las balsas o depósitos, con equipos que permitan ajustar de manera precisa y eficiente las variables físicas a un valor objetivo específico. Los caudalímetros, de preferencia no invasivos y las válvulas deberán estar provistas de gran variedad de configuraciones posibles (control remoto, reguladora de presión y/o caudal, alivio, anticipadora de onda, flotador, etc.) Para la medición de niveles se emplearán transductores analógicos de presión o sensores de nivel sumergibles analógicos, dependiendo del tamaño de los depósitos.

En baja, la sectorización es fundamental para facilitar el análisis de agua no registrada y con ello, la operación y mantenimiento de la red, que estará conformada con sistemas automáticos

provistos de baterías y paneles solares para dotarla de autonomía limitada y con los sistemas de telecomunicación necesarios (GPRS/Modem) integrados.

La arquitectura de las plataformas tecnológicas se define bajo las siguientes premisas:

- Agnóstica: es capaz de procesar distintas fuentes de datos generados en cualquier fuente de origen, con independencia de suministradores o tecnologías.
- Interconectividad: se debe poder comunicar con otras plataformas o soluciones.
- Escalable: fácil integración de nuevos elementos o módulos sin alterar el funcionamiento crítico y continuo del servicio. Rendimiento estable ante crecimiento de los datos procesados y archivados (históricos).

Así pues, la infraestructura final, y que interconecta el telecontrol con la Inteligencia Artificial, con el consumo eficiente del agua y la energía quedaría de la siguiente forma:

- Telecontrol: sistema operación, control y gestión centralizada de la realidad operacional de una Comunidad de Regantes. Consulta y visualización del histórico de datos.
- Inteligencia artificial: actuación automática en base a algoritmia inteligente para la toma de decisiones (eficiencia energética, calidad del agua, etc.).
- Generación de informes de las variables adquiridas por el sistema (hidrantes y contadores, bombas y caudales, presiones) tanto en tiempo real como gráficas histórico de datos.
- Generador de alarmas: parametrización de alarmas en función de umbrales establecidos por el usuario y comunicación de alarmas según cuadro de guardias establecido por el usuario.
- Interoperabilidad con otros módulos de diferentes plataformas: gestión de órdenes de trabajo.
- Gestión del consumo energético: conocer el consumo de un equipo, detección de consumos excesivos y reajuste de potencias o períodos tarifarios contratados.
- Riego inteligente: optimización del consumo de los recursos hídricos en base a datos agroclimáticos, la teledetección y la previsión meteorológica.

Mediante este tipo de plataformas de integración y gestión de la información se podrán realizar, las siguientes funciones:

- **Programación eficiente de la puesta en marcha de equipos:** ajuste automático de la programación del riego en función del ajuste de potencias contratadas o período tarifario. Así mismo, mediante la previsión de consumos diarios de energía, dependiente de la previsión de la demanda de agua para riego, el software prioriza las franjas horarias de puesta en marcha de los bombeos. Además, facilita un seguimiento de consumos y facturas eléctricas, junto con la cuantificación del ahorro energético.
Mediante la inteligencia Artificial, se definen patrones de consumo lo cual se traduce en necesidades de demanda. El sistema debe priorizar el funcionamiento de equipos con energía fotovoltaica, en función del nivel de carga de las baterías y la previsión de la demanda.

Mediante la plataforma se controlará el funcionamiento del activo, bien a través de los sensores existentes o bien por estar trabajando fuera de su curva característica de funcionamiento, y cualquier dato anómalo generará una incidencia y una orden de trabajo.

- **Riego inteligente.** Las aportaciones de agua pueden modificarse para que se adapten a las necesidades de las especies vegetales presentes, tipología de suelo y orografía, lo cual evita riegos excesivos o insuficientes que podrían ser dañinos para las plantas. En general, el sistema garantiza una disminución global del consumo de agua entre un 30 y un 40%, independientemente del ahorro que supone el control del riego en cada zona concreta. La centralización de estas instalaciones supone la gestión del mantenimiento desde un único punto de control que se encargará del funcionamiento total y de la localización e identificación de las anomalías, facilitando la intervención rápida y eficaz sobre el terreno del personal cualificado.

El riego inteligente o agricultura de precisión consiste precisamente en la reprogramación automática de horarios de riego, mediante la aplicación de algoritmos que calculan las necesidades hídricas óptimas de los cultivos. Estos algoritmos pueden ser:

A.- El trinomio estado hídrico del cultivo, datos climáticos del área de riego recogidos en la estación y la previsión meteorológicas: en base al balance hídrico de “suelo-planta-atmósfera” y mediante la previsión meteorológica, se calculará automáticamente la demanda hídrica de las zonas de riego y se reprogramarán los turnos de riego según la frecuencia y dosis calculadas.

B.- La teledetección, entendida como el procesado de imágenes de satélite que monitorizan las cubiertas vegetales en regadío, permite determinar espacial y temporalmente distribuidas (frecuencia mensual y anual), la evapotranspiración actual de los cultivos en regadío, así como sus necesidades hídricas. Con la demanda neta de los cultivos y teniendo en cuenta la previsión meteorológica se realiza un ajuste automático de la programación del riego. Asimismo, mediante las imágenes satelitales se podrá monitorizar el estado fitosanitario de las plantas y detectar cualquier anomalía, siendo precisos tanto con las frecuencias y dosis necesarias de riego como con las necesidades de fertilizantes.

- **Detección de fugas.** Los datos recopilados se analizan continuamente utilizando algoritmos inteligentes para extraer métricas en tiempo real (balances hídricos, presiones), y mediante mecanismos de machine learning para definir patrones de comportamiento y consumo basados en datos. Esto facilita la detección temprana de fugas y fraudes en la red de riego.

Funcionalidades de la detección de fugas:

1. Balances hídricos: se realizan balances hidráulicos a distintos niveles jerárquicos. En el caso de disponer de contadores de telelectura, estos balances se realizan desde el punto sensorizado de la red más aguas arriba hasta el propio punto de suministro, pudiendo localizar fugas y fraudes en la red en etapas muy tempranas.
2. Agua No Registrada (ANR): monitorización de caudal y presión en la red para detectar fugas y fraudes
3. Detección de fugas y fraudes: detectan fugas no visibles, robos y acometidas fraudulentas, etc.
4. Generación y notificación de alarmas: sectores con eventos (caudales o presiones elevados), fallos de comunicación de los contadores o los dataloggers, etc. Permite la programación de reglas de generación automática de alarmas con base en umbrales

preestablecidos por el usuario. Las alarmas generadas pueden priorizarse mediante un sistema propio y parametrizable. En función de la criticidad del evento, la alarma generará una orden de trabajo automática o bien dicha orden será creada por el responsable de la explotación, si lo considera necesario.

5. Generación Solicitud órdenes de trabajo: creación de solicitud de órdenes de trabajo cuando detecta una fuga/fraude. Comunica directamente a la aplicación de mantenimiento correspondiente (si existe).

La integración con el GIS de la Comunidad permitirá geoposicionar las OTs y documentar las actuaciones realizadas en los mismos (fotografías, documentos, costes de las actuaciones, etc.).

6. Predicción de la demanda y patrones de consumo: la existencia de contadores de telelectura en los puntos de suministro y la introducción de mecanismos de machine learning permiten predecir el agua inyectada y consumida en la red de distribución. Mediante el conocimiento de la predicción de la demanda de agua, se pueden gestionar los momentos óptimos para el llenado de balsas, ajustando estos momentos a períodos tarifarios de menor coste o a la puesta en marcha de los bombeos mediante la energía fotovoltaica.

9.5. Conclusiones

Los sistemas de riego deben proveerse de herramientas que permitan monitorizar y gestionar el recurso hídrico, en donde todos los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos estén integrados y puedan ser tele controlados. Esto, redundará en una mejor gestión energética, en la incorporación de riegos inteligentes, en la eficiencia hídrica de la red y, en definitiva, en una mejor gestión productiva y sostenible.

Las plataformas tecnológicas para la gestión del riego, orientadas a Comunidades de Regantes, deben tener una estructura modular que permita la gestión integral y centralizada de las infraestructuras gestionadas, y que su arquitectura permita disponer de los datos en el resto de módulos de la solución para su análisis. De este modo, las lecturas en los puntos de suministros no solamente se utilizan para la localización de fugas y fraudes, sino que se utilizan para automatizar el ciclo de facturación (lectura, facturación y cobro), para controlar los consumos por cliente, hidrante, tipología de cultivo, etc.

Se requiere de un sistema de facturación que discrimine los consumos de los regantes según franjas horarias, días de la semana y meses del año. De este modo, se hace evidente el coste que supone la producción de agua y la Comunidad definirá los KPIs necesarios para poder gestionar la infraestructura de una manera eficiente y siempre con la premisa de optimizar el consumo hídrico y energético.

El desarrollo de estos sistemas debe tener un carácter integral, permitiendo la gestión centralizada del ciclo de facturación, apoyada en el uso de aplicaciones móviles y apps, para generar el uso de una amplia y valiosa información para los regantes y gestores de los sistemas de riego.

La obtención de datos, ineludiblemente mediante telelectura, deberá ser capaz de permitir la descarga y exportación de las lecturas junto con la creación de informes y cuadros de mando parametrizables, a medida de cada sistema de riego (Bespoke-irrigation).

La modularidad de la Plataforma debe permitir a los gestores acceder a un entorno integrado con información actualizada sobre las órdenes generadas en cualquiera de sus módulos a partir de los distintos eventos sucedidos, las tareas que ya están realizadas, el estado de las que están en curso y las actuaciones pendientes. Asimismo, debe permitir generar OTs de forma manual. Disponer de una solución de Órdenes de Trabajo conectada con los diferentes módulos facilitará una acción inmediata del gestor ante estos eventos, reduciendo el volumen de agua fugada y, por tanto, reduciendo el consumo energético necesario para su producción y puesta en servicio. Del mismo modo, la monitorización de los equipos de bombeo y los sistemas de filtrado permiten la detección temprana de anomalías, que generarán su correspondiente orden de trabajo en aras de conseguir una mayor eficiencia energética, al tiempo que esta detección temprana reduce el coste de reparación de los equipos.

La eficiencia de los equipos electromecánicos requiere, asimismo, de unas tareas de mantenimiento preventivo que hacen que funcionen en su punto óptimo dentro de su curva característica, al tiempo que ayudan a prolongar la vida útil de los mismos. La existencia de un módulo, dentro de la plataforma tecnológica, que planifique los mantenimientos iniciales de campaña y mantenimientos preventivos redundará en una mayor eficiencia tanto hidráulica como energética de la infraestructura de riego.

Para concluir resaltar que en la gestión de la operación de infraestructuras intervienen diferentes indicadores de muy diverso ámbito. Una gestión eficiente optimiza los recursos disponibles buscando el máximo beneficio para la explotación. Disponer de un centro de operaciones que centralice la monitorización y actuación en tiempo real sobre los indicadores principales permite al operador realizar una gestión eficiente de su explotación.

Por esta razón, resulta de especial interés disponer de un punto de gestión único que muestre los indicadores de gestión en un cuadro de mando para todas las soluciones activas. Estos indicadores deben ser personalizables por el usuario, en función de su rol, y deberán ofrecer la posibilidad de generar y exportar informes en los que se muestren los parámetros y las tendencias que puedan resultar de interés.

El mencionado C3.11 Plan para la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad en regadíos, en su expositivo sexto, establece los siguientes indicadores para el seguimiento de los objetivos del Plan para la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad en regadíos, los mismos que facilitarán en función de la tipología de la actuación a ejecutar, la evaluación de la inversión una vez haya sido finalizada y que expresan sin ambages el objetivo que persigue el Plan y la necesidad de implementar sistemas de gestión de los regadíos, conforme se ha expresado en este documento, incluso para la mera obtención de los datos de los indicadores propuestos. Los indicadores específicos de cada actuación se elegirán entre los relacionados a continuación:

- 1) Volumen de agua utilizado tras la modernización ($m^3/año$ a escala de infraestructura) medido en términos de eficiencia hídrica.
- 2) Consumo de energía de la infraestructura tras la modernización (MWh/año)
- 3) Consumo de aguas no convencionales ($m^3/año$)
- 4) Concentración de NO_3 en el punto de la red de seguimiento del estado de aguas subterráneas más representativo de la zona
- 5) Superficie de riego controlada y gestionada por TIC: Medidores y gestión del uso del agua en parcela (ha) con tarifas orientadas a la eficiencia en el uso del agua
- 6) Gasto en la mejora ambiental del regadío.

Por tanto, el alcance de los proyectos de modernización de las instalaciones incorpora un seguimiento medioambiental que permitirá cuantificar y caracterizar las mejoras alcanzadas.

En este sentido, serán claves:

La promoción de aguas no convencionales en situación de aguas superficiales y/o subterráneas

La generación de los mayores ahorros en el uso del agua bien por reducción de la demanda o por su uso más eficiente

La promoción del uso de energías renovables y, en general, la incorporación de tecnologías innovadoras en la gestión de los sistemas de riego