

# ***Análisis y mejoras de la instalación de riego del Campus de la Universidad Politécnica de Valencia***

*Manzano, J., García-Serra, J., Palau, C. V., Cremades, R., Morente, J.*

*Universitat Politècnica de València*

*juamanju@agf.upv.es*

## **1 Introducción**

El jardín del Campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia se extiende sobre más de 105.400 m<sup>2</sup>. Se trata de un espacio que envuelve y articula la mayor parte de los edificios, siendo uno de los elementos más característicos de la vida universitaria.

La instalación se riega a partir de dos perforaciones de agua subterránea que aprovechan recursos no aptos para el consumo humano por exceso de nitratos. Estos pozos se utilizan también para otros servicios en los que no es necesario utilizar agua potable.

Según los datos que constan en la Declaración Ambiental de la UPV, en el año 2010 se consumieron 95186 m<sup>3</sup> de agua en la instalación de agua de riego.

## **2 Antecedentes**

La configuración y estructura de la superficie ajardinada ha ido variando a lo largo de los cerca de 40 años de historia del Campus y su extensión aumentando, de manera que, con mucha frecuencia se producen remodelaciones, variaciones en el trazado, nuevas sectorizaciones o eliminación de zonas de jardín, ahora edificadas.

La remodelación del Campus ha sido muy intensa en los últimos años y todos estos cambios han ido generando incertidumbres en diámetros, desconocimiento de modelos de emisores de riego instalados, trazado y número de derivaciones exacto o consumos no controlados. Adicionalmente, cada ampliación ha significado la adición de un nuevo sector con su programador independiente y esta programación se ha venido estableciendo según el criterio del jardinero, sin más análisis.

El potencial de ahorro de agua y, como consecuencia de ello, de energía, es muy importante, dado que no existe en la actualidad un criterio definido para las programaciones. De hecho, estas se deben de modificar en muchos casos de manera individual, lo que dificulta enormemente la labor de optimización en la aplicación del agua de riego.

Por otro lado, no es infrecuente ver regar en días de lluvia o con fuerte viento, dado que se carece de sensores y de la automatización necesaria para evitar regar cuando no es necesario o conveniente.



*Figura 1 Vista del Campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV. 2010)*

### **3 Objetivos**

Ante esta problemática se ha procedido a realizar un estudio de la red de riego con el objetivo último de mejorar en la medida de lo posible la aplicación del agua a las parcelas. Ese estudio incluye una evaluación de la situación actual, de manera que queden de manifiesto los aspectos susceptibles de ser mejorados, y una propuesta de mejoras tanto en lo que respecta al sistema hidráulico (red de tuberías y estaciones de bombeo) como a las dotaciones de riego. Asimismo, para dotar de mayor versatilidad y facilidad de manejo al sistema, de manera que se puedan modificar las programaciones de una manera sencilla adecuándolas a las necesidades de cada época del año, se plantea como objetivo la implementación de un sistema de telecontrol. Este sistema deberá gestionar además las señales procedentes de diferentes sensores (pluviómetros, anemómetros, etc..) para optimizar la gestión de la red de riego.

### **4 Metodología**

La primera fase del presente estudio es la determinación del consumo de agua de las plantas del jardín para establecer una programación del riego acorde con sus necesidades en cada época del año. A su vez, este análisis permite conocer los periodos de demanda punta en la red hidráulica. Paralelamente, se ha realizado un exhaustivo inventario de los elementos de la red de riego, desde el bombeo hasta los emisores, pasando por valvulería o automatismos. Finalmente, en la fase de análisis se desarrolla un modelo informático de la red que muestra su comportamiento hidráulico evidenciando sus puntos críticos.

#### **4.1 Necesidades de riego**

Para analizar correctamente el comportamiento del jardín se precisa conocer la superficie ocupada, las dimensiones y situación de las parcelas regadas y las especies existentes en ellas. Se pretende a partir de ello estimar las necesidades de riego y los consumos potenciales de agua.

Las especies que componen el jardín son muy variadas, pero se emplea como base principal una combinación de cespitosas cubriendo el terreno, dando lugar a una superficie importante de pradera. La mezcla básica de

cespitosas la compone *Festuca arundinacea*, *Pennisetum clandestinum* y *Poa annua*. Pero esta pradera está salpicada de árboles y arbustos con diferente densidad. Se encuentran más de 50 especies de árboles caducifolios, 31 de perennifolios, 16 tipos de coníferas, 13 tipos de palmáceas o similares y por encima de 20 arbustivas distintas.

Para el cálculo de las necesidades hídricas se ha empleado el método del coeficiente de jardín (Costello, 1999). Se parte del cálculo del coeficiente global ( $K_j$ ) que multiplicará la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), dando lugar a la evapotranspiración del jardín. El coeficiente de jardín se compone a su vez de tres factores asociados a especie ( $K_e$ ), microclima ( $K_m$ ) y densidad ( $K_d$ ).

$$K_j = K_e \times K_m \times K_d$$

La  $ET_o$  ha sido calculada a partir de datos climáticos locales, utilizando el método de Penman-Monteith FAO (Allen, 1998). Una vez obtenida la ET, se descuenta la precipitación efectiva siguiendo el criterio de Brouwer-Heibloem (1986), obteniéndose las necesidades de riego netas ( $NR_n$ )

$$NR_n = ET - Pe = K_j \times ET_o - Pe$$

Finalmente, a partir de esta cantidad se obtienen las necesidades totales, teniendo presentes los ajustes clásicos de eficiencia de aplicación y fracción de lavado. Para ello, se debe tener en cuenta el sistema de riego, el suelo y la calidad del agua.

La aplicación de esta metodología da como resultado seis tipologías o hidrozonas homogéneas diferenciadas cuyas necesidades totales anuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1 Necesidades de riego anuales por hidrozona

Hidrozona	Tipología	Tipo de riego/ Calidad agua	Necesidades totales anuales (m <sup>3</sup> /ha/año)
1	Zona sin césped (aromáticas)	Localizado / calidad 1	3105
2	Zona con césped y vegetación no exigente	Aspersión / calidad 1	5465
3	Zona con césped, vegetación exigente y tránsito de personas	Aspersión / calidad 1	6681
4	Zona sin césped (aromáticas)	Localizado / calidad 2	2169
5	Zona con césped y vegetación no exigente	Aspersión / calidad 2	5555
6	Zona con césped, vegetación exigente y tránsito de personas	Aspersión / calidad 2	5792

Como se aprecia en la clasificación de hidrozonas, los valores más bajos de necesidades se asocian a zonas sin césped, con predominio de especies mediterráneas adaptadas, dotadas con riego por goteo; mientras que los valores más elevados son los de las praderas extensas regadas por aspersión.

## 4.2 Instalación hidráulica

Simultáneamente a la identificación de las zonas de riego, se ha realizado un exhaustivo inventario de los elementos de la red de riego, desde el bombeo hasta los emisores, pasando por valvulería y automatismos.

La instalación se abastece desde dos pozos dentro del mismo Campus, alimentando sus respectivas subredes independientes, aunque se encuentran interconectadas y podrían funcionar en conjunto. Cada pozo dispone de una bomba principal, que mantiene la presión en cabecera en 55 m.c.a. gracias a un variador de frecuencia. Asimismo, en paralelo con la anterior, existe otra bomba de velocidad fija que entra en funcionamiento cuando como consecuencia del incremento de consumo la bomba anterior está al 100% de su velocidad de giro y la presión ha caído hasta los 40 m.c.a. Las dos bombas funcionando en paralelo, una de velocidad fija y otra de velocidad variable, serán capaces de mantener 55 m.c.a. en cabecera de red para caudales más elevados. La máxima demanda de caudal que puede asumir el pozo 1 trabajando a 55 m.c.a. y con las dos bombas en paralelo es de aproximadamente 92 m<sup>3</sup>/h, mientras que el pozo2 alcanza los 95 m<sup>3</sup>/h.

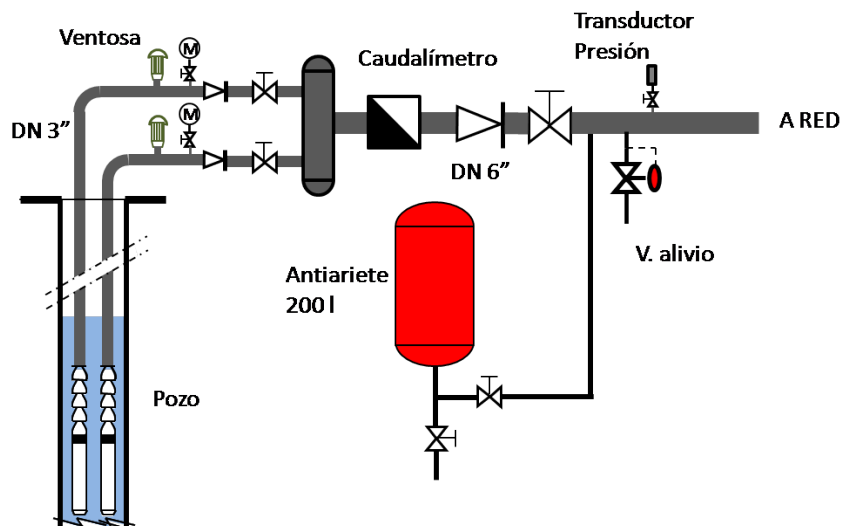


Figura 2 Esquema de los grupos de bombeo

Las tuberías se distribuyen bajo cuatro tipos diferentes de instalación; a través de galería registrable, galería visitable, conducciones enterradas o conducciones vistas en aparcamientos. En total suman más de 22 km combinándose acero galvanizado, PVC y polietileno, siendo este último el mayoritario puesto que es el empleado en las tuberías portaemisores de riego. Los diámetros nominales instalados van desde 25 hasta 150 mm.

El resto de elementos que intervienen en el riego se agrupan según el esquema representado en la Figura 3 donde básicamente, se aprecia una válvula de corte, una electroválvula comandada por un programador y la subunidad de riego formada por la terciaria y los laterales con sus emisores de agua (aspersores, difusores o goteros).

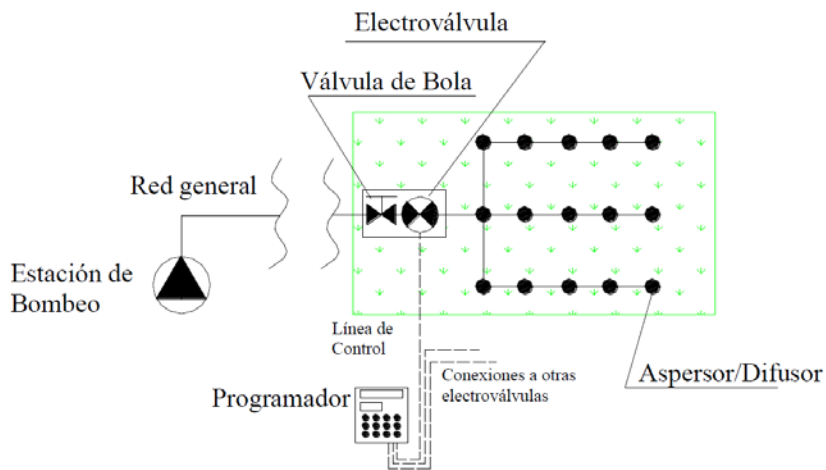


Figura 3 Esquema de elementos de la red de riego

Los programadores constituyen la herramienta principal en la gestión automatizada del riego. En este caso suman 63 programadores independientes de distinto tipo y manejo, con alimentación eléctrica desde red o por pilas. Cada programador gobierna entre 1 y 20 electroválvulas, existiendo más de 240 unidades de estas, accionadas con un solenoide de bajo consumo. Las electroválvulas se alojan en arquetas, en las que normalmente se encuentra también una válvula de bola, como elemento de seguridad. Cada electroválvula controla el conjunto de emisores que constituyen una unidad o sector de riego con tiempos y programación independientes.

Los emisores pertenecen a tres categorías diferentes: aspersores emergentes de turbina, de los cuales existen 1300 unidades de 9 modelos distintos; difusores estáticos emergentes (700 unidades y 5 modelos) y goteros reguladores e integrados (más de 4700 unidades de 3 modelos). Para cada tipo y modelo de emisor hay asociado un caudal y un espaciamiento determinado que se ha comprobado sobre el terreno.

Para el análisis del jardín, se ha procedido al establecimiento de una codificación específica. Así cada parcela o conjunto de parcelas que constituyen una unidad de riego, se asocia a cada una de las 11 zonas en que se divide el jardín. Hay que recordar que cada una de estas parcelas ya está vinculada a una hidrozona determinada y tiene un número y tipo de emisores diferenciados. La electroválvula de cada unidad completará su codificación con identificativos de su marca, modelo y diámetro. Del mismo modo, cada programador también se asocia a la superficie que controla, su marca y modelo específico. Toda esta información así organizada y referenciada al plano del campus, constituye el modelo agronómico del sistema de riego, que integra necesidades de agua y elementos de la instalación.

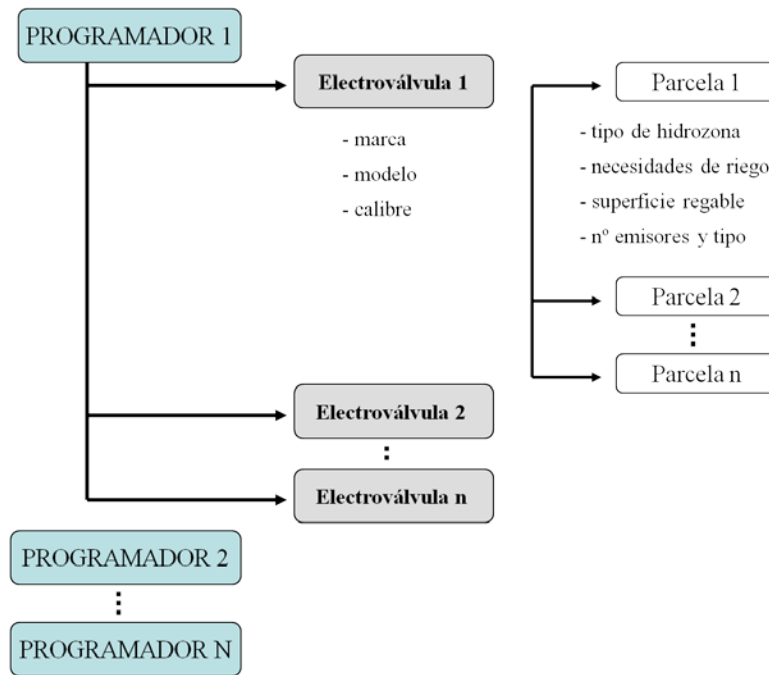


Figura 4 Codificación de los componentes del modelo

Actualmente, a lo largo del año se combinan dos programas o formas de regar. Por un lado está el riego que se realiza a finales de primavera y verano, con mayor frecuencia y duración de los riegos para compensar el incremento de la evapotranspiración, y por otro lado está el riego del resto del año, con menos duración y mayor intervalo entre riegos. Realmente, ninguna de las dos programaciones mencionadas es fruto de cálculo técnico alguno en lo que a necesidades hídricas, pluviometría ni infiltración se refiere. Esta organización del riego, únicamente se deriva de la experiencia de los responsables del mantenimiento del jardín.

La red abastece también a muchos de los nuevos edificios en aquellos usos que no requieren agua potable (sanitarios), con lo cual se ahorra en recursos hídricos de calidad y en dinero puesto que el agua del pozo es mucho más económica que la procedente del suministro de agua de la red de Valencia. También se usa para la reposición de pérdidas en la piscina, para la limpieza de viales y para el riego de parcelas agrícolas de experimentación. Sin embargo estos volúmenes están claramente diferenciados de los anteriores, puesto que el riego del jardín se hace en horas nocturnas en las que no se producen estos consumos alternativos.

### 4.3 Modelo informático

La realización de un modelo informático que represente de la manera más fiel posible el funcionamiento hidráulico de la red resulta fundamental en el análisis; para ello ha sido empleado el programa EPANET. Este programa realiza simulaciones en periodos prolongados (Rossman, 2000), permitiendo reproducir la evolución de la programación.

Dentro de sus prestaciones han sido de especial utilidad aquellas que permiten la definición de diferentes tipos de válvulas (corte, retención o reguladoras), introducción de bombas de velocidad fija o variable, empleo de leyes de control o el modelado de tomas de agua cuyo caudal dependa de la presión. Así, por ejemplo, las electroválvulas han sido modeladas como válvulas de uso general a las que se ha asociado empleando leyes de control simples su hora de apertura y cierre.

La red se ha modelado hasta las electroválvulas, pero para introducir las unidades de riego, en el nudo situado aguas abajo de cada una de ellas se han agrupado todos sus emisores alimentados en uno equivalente. Para ello se debe deducir la fórmula general a partir de la fórmula de cada aspersor o difusor.

$$Q_i = k_i \sqrt{P_i} \quad (\text{curva individual del emisor})$$

Para cada subunidad  $Q = \sum Q_i$  y  $P = P_i$

Por tanto, y para los  $n$  tipos diferentes de emisores en una unidad de riego

$$Q = \sum (k_i \sqrt{P_i}) = (n_1 k_1 + n_2 k_2 + \dots + n_n k_n) \sqrt{P}$$

Donde  $n_i$  es el número de aspersores o difusores de coeficiente de caudal  $k_i$ . Se ha hecho la hipótesis de que en cada subunidad las pérdidas de carga no son importantes, lo que implica suponer que la presión de entrada a cada aspersor o difusor es la misma ( $P=P_i$ ) e igual a la existente a la salida de la electroválvula.

El modelo cuenta con 611 nudos, con la demanda asociada a la presión en 244 de ellos. El número de válvulas afectadas con leyes de control es de 230.

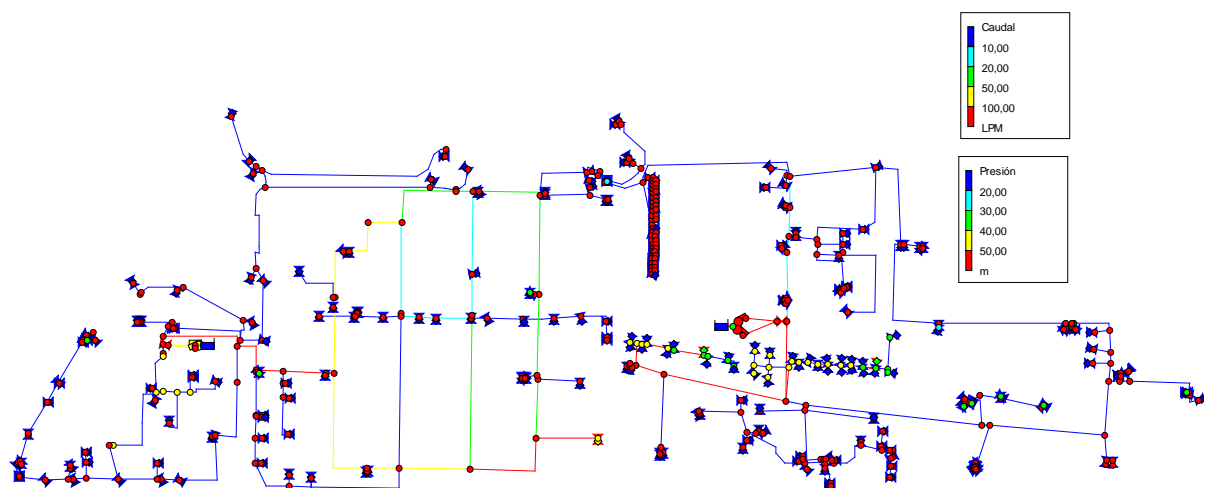


Figura 5 Esquema del modelo informático de la red de riego

Una vez elaborado el modelo, se debe comprobar su correspondencia con la realidad. Para su validación se han contrastado las presiones y caudales calculados con los valores medidos en distintos puntos de la instalación en varios ciclos de riego. Para ello, han sido instalados transductores de presión con sus correspondientes *data-logger* en distintos puntos de las redes. La diferencia existente entre los valores calculados y los registrados por los instrumentos de medida, en régimen permanente, no ha superado los 5 m.c.a., diferencia que se considera aceptable para los fines del estudio. Ha de tenerse en cuenta que existen trazados enterrados dudosos y acometidas a edificios o parcelas de experimentación de difícil control.

Técnicamente, el modelo hidráulico de la red de riego permite el análisis del comportamiento de los siguientes factores:

- Caudales máximos demandados. Reflejan el uso que se hace de los grupos de bombeo obteniéndose la exigencia máxima de caudal o el margen de ampliación de la demanda.
- Presiones críticas. Se identifican las zonas con valores máximos así como aquellas presiones excesivamente bajas que no permitan un riego correcto. De forma general y atendiendo al tipo de

emisores, se establece como presión máxima de funcionamiento en los nudos de servicio 34 m.c.a. y como valor mínimo, para que los emisores trabajen de forma adecuada, 15 m.c.a.

- Velocidades de flujo máximas y mínimas. Si ambas se dan de forma continuada en tramos concretos, quedará patente un dimensionado inadecuado de conducciones o una secuencia incorrecta en la distribución de los caudales demandados dentro de la programación del riego. El rango de velocidades definido como correcto se establece entre 0.2 y 3 m/s.
- Trazados inadecuados o mejorables. Se comprobará que la red no tiene tramos de longitud excesiva, puntos de entronque de unidades de riego mal escogidos, o cualquier otra incidencia que afecte al funcionamiento general de la red.

## 5 Conclusiones del análisis y propuestas

Una vez ajustado el modelo y bajo la programación del riego existente de inicio se han obtenido los siguientes resultados:

- En ambos pozos no existen problemas para cubrir el caudal máximo demandado con una sola bomba como se aprecia en la distribución de caudales de la Figura 5; sin embargo su distribución es muy irregular, con numerosos picos que duplican o reducen a un tercio el caudal medio demandado el periodo de riego. En esta situación, las bombas frecuentemente trabajan con rendimientos alejados del óptimo.
- No existen problemas por presiones bajas, son siempre superiores a 20 m.c.a en todos los sectores; sin embargo, sí hay sectores con presión excesiva. Únicamente, el 25 % de los nudos de servicio se encuentra dentro del rango correcto de presiones, el 75% restante recibe más presión de la necesaria. Es interesante indicar que las unidades de riego por goteo están equipadas con reductoras de presión taradas a 30 m.c.a., elemento inexistente en el resto de unidades.
- Se han identificado 8 líneas con velocidad de flujo elevada. En cuatro de ellas, el problema se asocia a una secuencia errónea del riego que conlleva picos de alta demanda de agua durante periodos amplios de funcionamiento. En las cuatro restantes la velocidad es siempre alta; al tratarse de tramos cortos y enterrados, de fin de red y sin problemas de presión en las unidades que abastecen no se aconseja su cambio inmediato.
- Como se ya se ha comentado, la red ha ido experimentando sucesivas expansiones. Los principales tramos añadidos de mayor diámetro siguen una justificación técnica, sin embargo, muchas tomas a distintos sectores de nueva adición se han realizado según el criterio del instalador. Este criterio, en ocasiones, se suele fundamentar en lo más “cómodo” o “conveniente” para el instalador en el momento de realizar un trabajo, pudiendo no corresponderse con lo más correcto técnicamente. Se han identificado varias líneas con trazados problemáticos por recorridos excesivos, sin embargo, del análisis se extrae que no afectan a las presiones o velocidades de la red. Por ello no es preciso su redefinición, aunque se recomienda su revisión conforme se vayan produciendo trabajos de sustitución y mantenimiento en la red.

Por otro lado, con el estudio de necesidades de agua del jardín se ha comparado la dotación de agua en la programación actual con la que se obtiene del modelo teórico. En la mayor parte de las unidades se está aplicando un volumen superior al necesario, con unos tiempos e intervalos de riego carentes de justificación, aunque, en algunos casos, próximos a los teóricos. Por lo general se tiende a regar en exceso, aunque también es importante considerar el “criterio del jardinero” puesto que son estos operarios los que mejor conocen el material vegetal, siendo su preocupación principal el buen aspecto del jardín.

El análisis ha evidenciado claramente un inadecuado reparto de los caudales demandados por las unidades. Por tanto un primer paso consiste en reajustar la programación basada en el cálculo de necesidades hídricas; se modificarán los tiempos de riego, los intervalos y su redistribución diaria para conseguir una demanda lo más homogénea posible. Las herramientas para este ajuste son el modelo agronómico y el modelo informático de la red. Con esta programación basada en los modelos teóricos, los caudales punta se reducen más del 45%, los caudales en periodos de demanda media son un 40% menores, la presión en cabecera se puede reducir más de 15 m.c.a. y el ahorro de agua de riego se estima en un 30%, lo que supone un volumen total de 17.400 m<sup>3</sup>.

En la siguiente figura se muestra para un ciclo de riego, la distribución de la demanda previa y la demanda propuesta. También se representan los caudales máximos que puede proporcionar una o dos bombas para los diferentes umbrales de presión.

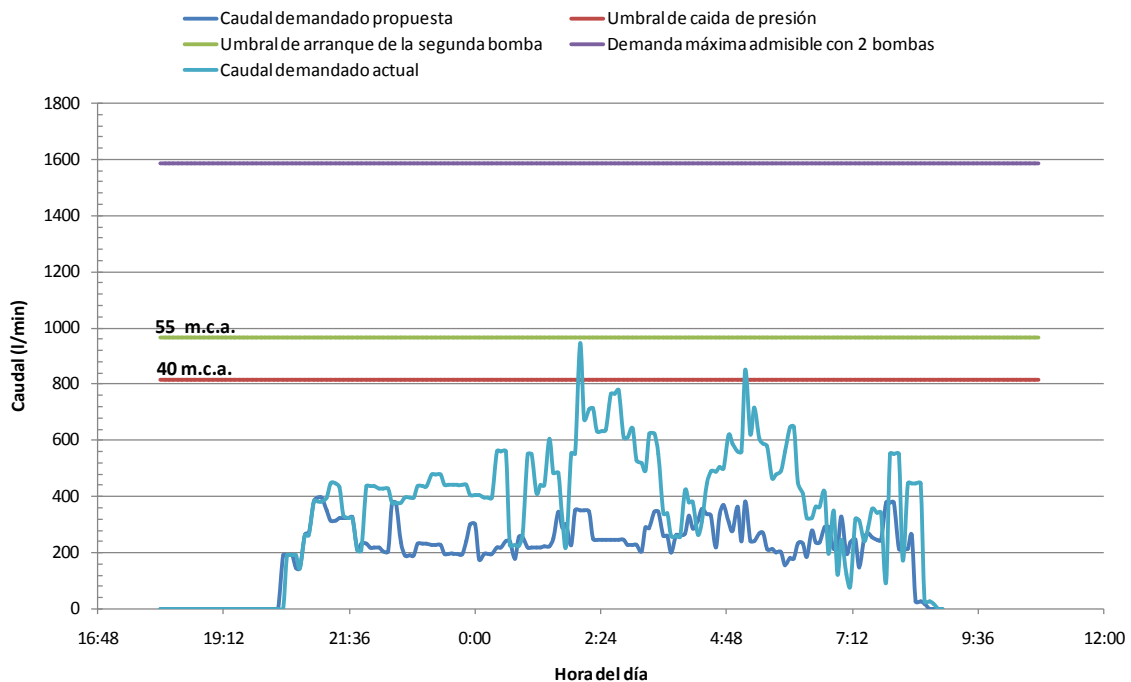


Figura 6 Distribución de la demanda actual y propuesta en el pozo 2.

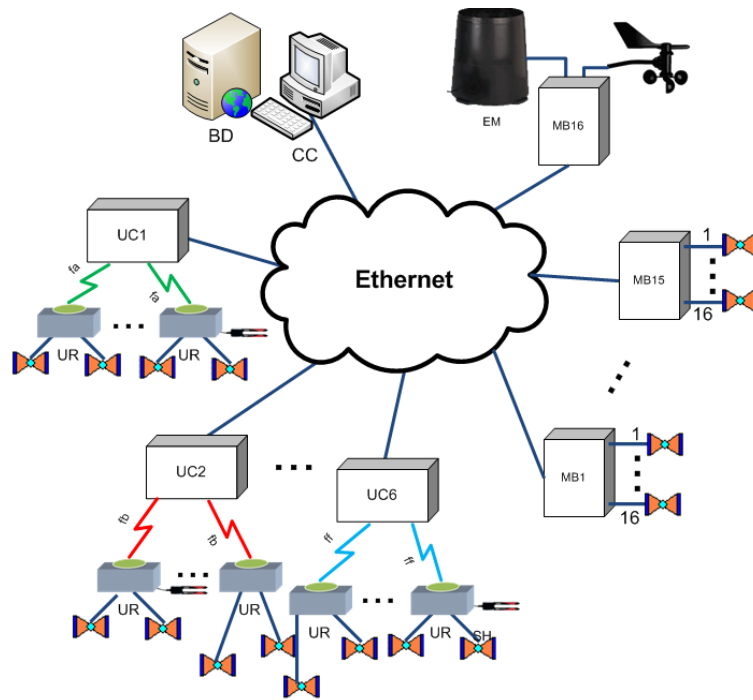
Como ha quedado de manifiesto anteriormente, al redistribuir la demanda la presión cabecera es excesiva. Una segunda propuesta, manteniendo la misma programación, consiste en reducir la presión de trabajo. De los 55 m.c.a. consignados en el jardín, se puede rebajar hasta 35 m.c.a en el pozo 1 y 40 m.c.a en el pozo 2. De este modo todos los nudos de servicio quedarían con presiones entre 17 y 35 m.c.a. con el consiguiente ahorro de agua y ahorro energético.

Para analizar correctamente el efecto en las bombas de las dos propuestas se ha realizado un estudio del nuevo régimen de giro y de los rendimientos asociados a los nuevos puntos de consigna; la potencia consumida se reduce hasta en un 50%. Respecto a los problemas de velocidad en las conducciones, modificando la distribución de demandas y la presión en cabecera, los tramos con exceso se reducen a dos.

Otro de los problemas evidentes es el elevado número de programadores, sobre los que se actúa de forma manual e individualmente, lo cual dificulta una gestión racional del riego; sin mencionar los problemas de mantenimiento o registro de datos. Se propone un nuevo sistema de automatización, centralizado en una unidad de control que organice las unidades de campo que, a su vez, comandan las electroválvulas.

La comunicación entre los componentes será mixta, mediante tecnología Ethernet, usando la red propia de la UPV, y vía radio usando frecuencias libres. En el esquema de la Figura 6 se estructuran los componentes de la automatización, así como su forma de relacionarse.





CC: Centro de Control	MB: Módulo Modus
RM: Radio modem	BD: Base de Datos
UC: Unidad Concentradora	SH: Sensor de Humedad
UR: Unidad Remota	EM: Estación Meteorológica

Figura 7 Esquema del sistema de automatización (FACSA, 2009)

Se ha diseñado un software para la programación del riego fácilmente manejable por el personal de jardinería, que por medio de coeficientes de ajuste pueda modificar simultáneamente todo el riego del jardín hasta llegar a particularizar la programación en electroválvulas individuales. El programa informático incorpora planos de ubicación de las electroválvulas y mensajes de alerta ante fallos de comunicación u operaciones incorrectas o abortadas.

Se integra también una estación meteorológica y sensores de humedad, que se pueden situar asociados a cada unidad remota. Las estrategias que permite el sistema para la programación son variadas:

- La opción básica consiste en la introducción manual y arbitraria de un coeficiente de ajuste, global o particular, que afecte a la programación base.
- El ajuste del coeficiente también puede realizarse de forma automática, con dos posibilidades a partir del cálculo de la evapotranspiración del jardín: de forma externa y por medio de un archivo numérico o ligado a los parámetros climáticos leídos directamente por la estación.
- Por último, la programación también se puede controlar siguiendo las lecturas de los sensores de humedad del jardín.

Los parámetros ambientales tienen otro empleo directo integrándose en una herramienta de control hídrico; se establecerán unos umbrales críticos que actuarán parando el riego, como en el caso de episodios de lluvia o viento altos o si se mantiene alta la humedad del suelo.

El sistema ha quedado instalado y probado durante el primer trimestre del año 2011, esperándose que incluso estos ahorros teóricos sean mayores al ajustar definitivamente el riego.

Puede afirmarse que se ha conseguido una instalación hidráulica y energéticamente más eficiente, afectando también otras cuestiones como el aspecto del jardín (se eliminan encharcamientos) o laborales (se gana en eficiencia de la mano de obra).

## 6 Referencias bibliográficas

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). *"Crop evapotranspiration; Guidelines for computing crop water requirements."* FAD Irrigation and Drainage Paper No. 56, Roma.

Brouwer C., Heibloem Y. (1986). *"Irrigation water needs; Irrigation Water Management"*. Training Manual No 3. FAO, Roma. 62 p.

Costello, L. R. & Jones, K. S. 1999. WUCOLS III. *"A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California"*. University of California Cooperative Extension. California Department of Water Resources.

Cremades, R. (2010). *"Ampliación y mejora de las instalaciones de riego del Campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia"*. Proyecto final de Carrera. Directores: Manzano, J., Palau, C.V. Universidad Politécnica de Valencia.

FACSA 2009. Instalación de un sistema de Telecontrol para la red de riego de los jardines de la UPV.

Morente, J. (2010). *"Proyecto de automatización del sistema de riego de la Universidad Politécnica de Valencia"*. Proyecto final de Carrera. Director: García-Serra, J. Universidad Politécnica de Valencia.

Rossman, L. A. 2000. Epanet 2, users manual. Cincinnati, USA: Water Supply and Water Resources Division. National Risk Management Research Laboratory.

Universitat Politècnica de Valencia. 2010. Declaración Ambiental. Area de medi ambient, planificació urbanística i ordenació dels campus.