

# Estrategias de ahorro energético en redes de distribución de agua



Ponente: Jorge García Morillo (jgmorillo@uco.es)

Grupo Hidráulica y Riegos: Emilio Camacho, Pilar Montesinos,  
Juan Antonio Rodríguez Díaz

Córdoba, 25 de Mayo de 2022

# Modernización de regadíos



Eficiencia en el riego

Por término medio, las modernizaciones requieren una media de  $2\text{kW/ha}$  y un consumo medio de  $1500\text{ kWh/ha}$

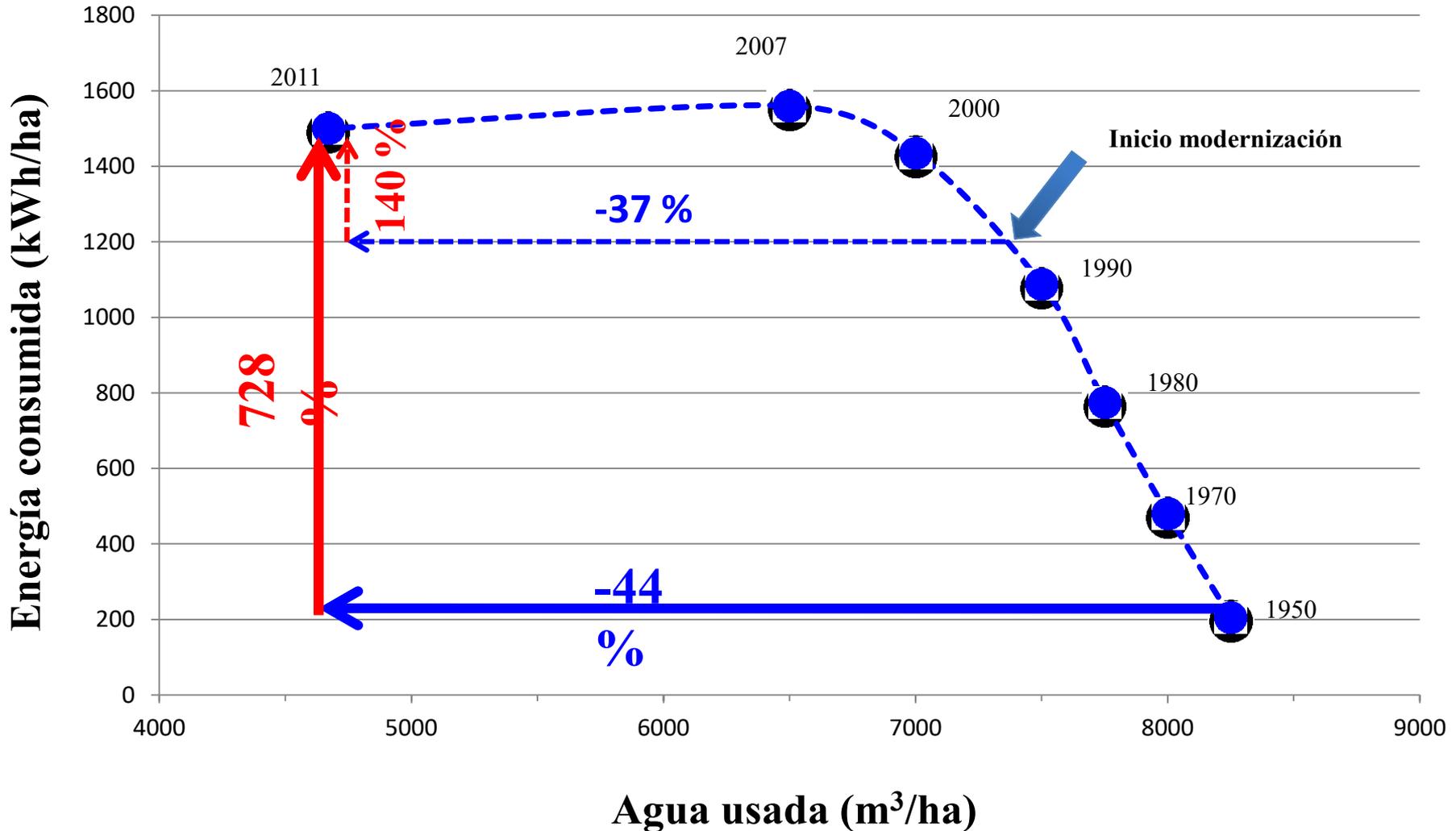
Automatización



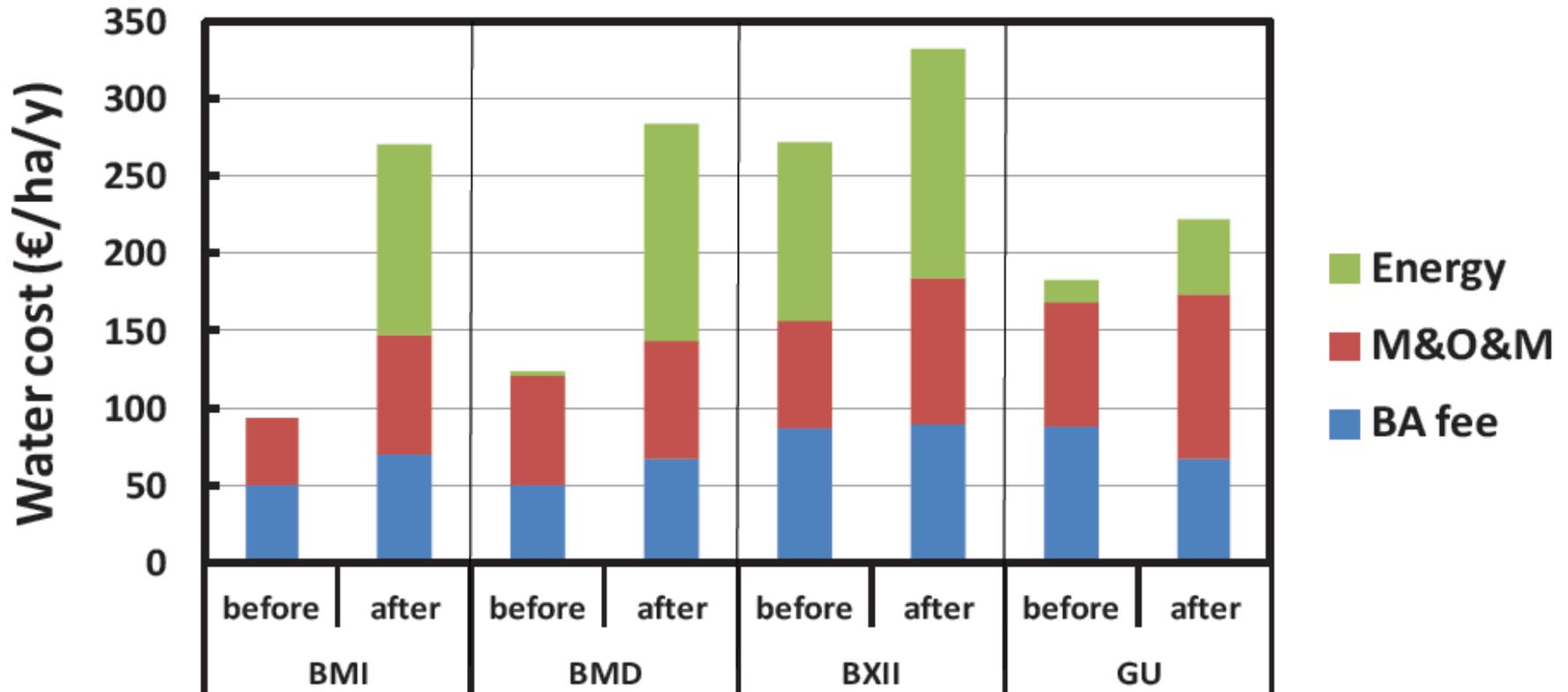
Demanda de energía



# Resultados de la modernización: La demanda de energía



## Consecuencias de la modernización en el coste del agua



# Consecuencias de la modernización en el coste del agua

Comunidad de Regantes	Superficie regada (ha)	Energía consumida por metro cúbico de agua (kWh/m <sup>3</sup> )	Porcentaje del precio de la energía sobre el total (%)
F. Palmera	5611	0.73	27.05
Las Coronas	450	0.34	65.27
El Villar	2726	0.89	48.67
Genil-Cabra	16100	0.33	29.50
M. D Bembezar	11262	0.15	18.55
P. Guadiana	4520	0.33	32.40
P. Bancos	1336	0.53	49.89
Los Dolores	4500	0.39	40.17
C. Noroeste	8383	0.17	16.05

≈ 35-40%

La energía se ha convertido en un factor de producción crítico en la agricultura de regadío, siendo en algunas Comunidades un factor más limitante que la disponibilidad de agua.

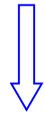
**Objetivo:**

↓ **Energía**

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta}$$

$$E = P \cdot t = \frac{\gamma \cdot V \cdot H}{\eta}$$

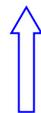
**Cómo:**



{  
V  
H

Aplicando las necesidades adecuadas, mejorando la eficiencia de riego,

Gestionando mejor la instalación, reduciendo los requerimientos de presión



$\eta$

Instalando bombas de velocidad variable y de alto rendimiento

# Requerimientos de energía en el riego

**Dotación (m<sup>3</sup>/ha): 5000**

**Rendimiento bomba: 0,75**

Método	H(m)	Ra	E(kWh/ha)	E(kWh/m <sup>3</sup> )	R
Superficie	3	0,5	108,89	0,044	0,18
Aspersión	45	0,7	1166,67	0,333	1,93
Pivote	35	0,8	793,98	0,198	1,31
Localizado	30	0,9	604,94	0,134	1,00

**Datos de interés:** Depuración de aguas residuales 0,5 kWh/m<sup>3</sup>  
Desalación 3-4 kWh/m<sup>3</sup>

Para riego por aspersión se requiere hasta un 93 % más de energía que para riego localizado

## Medidas para mejorar la eficiencia energética en una zona regable (IDAE, 2008)

- Auditoria energética
- Sectorización de la red de distribución
- Detección de puntos críticos de presión
- Correcto funcionamiento de la estación de bombeo
- Adecuación del bombeo a diferentes escenarios de consumos
- Adecuada contratación de las tarifas eléctricas

*Rodríguez Díaz J A; López Luque R; Carrillo Cobo M T; Montesinos P; Camacho Poyato E (2009) Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurised irrigation networks. Biosystems Engineering. 104: 552-561*

EL IDAE ha propuesto una serie de indicadores para evaluar la eficiencia energética de CCRR



Objetivo de la auditoría en una Comunidad de Regantes:

Evaluar el consumo energético de la misma y proponer y valorar medidas que supongan un incremento de la eficiencia energética y por tanto un ahorro energético y económico para la Comunidad de Regantes

## Fases de la auditoría:

### Obtención de datos:

- Información proporcionada por los gestores y técnicos.
- Medidas de datos de campo: parámetros hidráulicos, eléctricos y topográficos.

Cálculo de indicadores descriptivos, de rendimiento o eficiencia y de funcionamiento.

Clasificación energética de la Comunidad de Regantes

Aplicación de datos a modelos de simulación hidráulica y energética

Propuesta de mejoras

# Medida de altura manométrica



# Medida de caudal



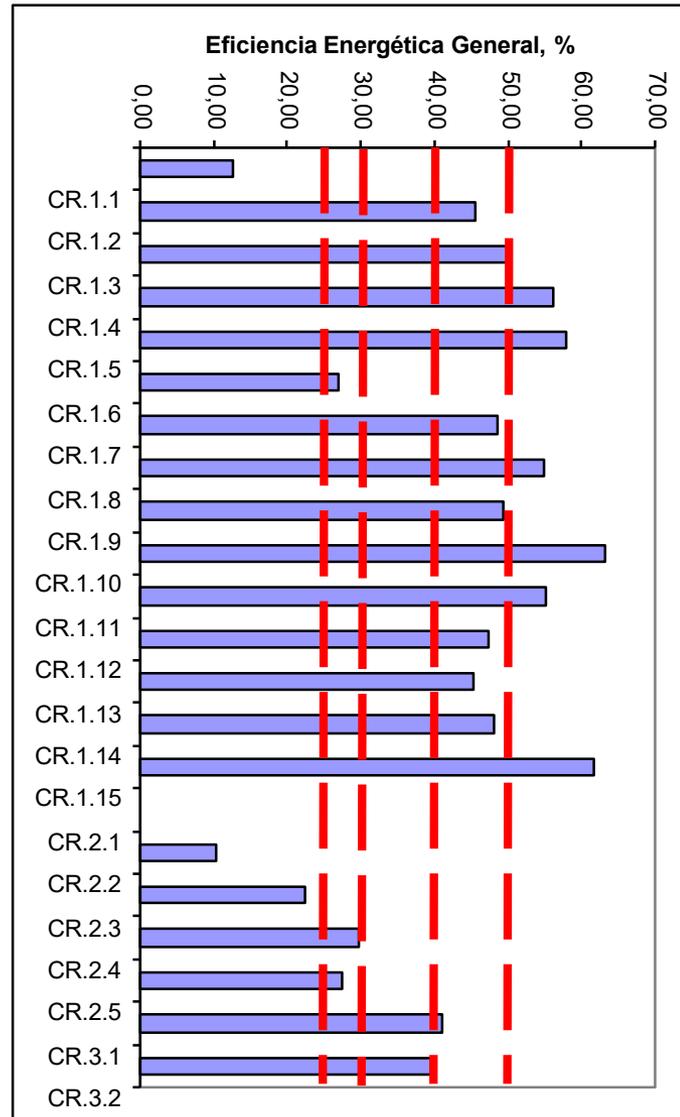
# Medida de parámetros eléctricos



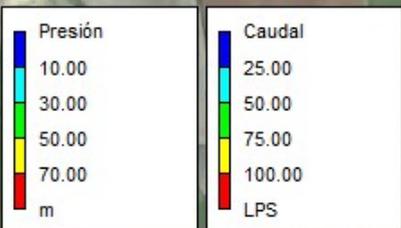
## Auditoría energética CR Fuente Palmera

INDICADORES DE EFICIENCIA	C.R. FUENTE PALMERA	CATEGORÍA
IDE: Índice de dependencia energética (%)	100	-
ICE: Índice de carga energética (m)	70	-
EEB: Eficiencia energética de bombeos (%)	69,47	Excelente (A)
ESE: Eficiencia de suministro energético (%)	80,76	-
EEG: Eficiencia energética general de la CCRR (%)	56,10	Normal (C)

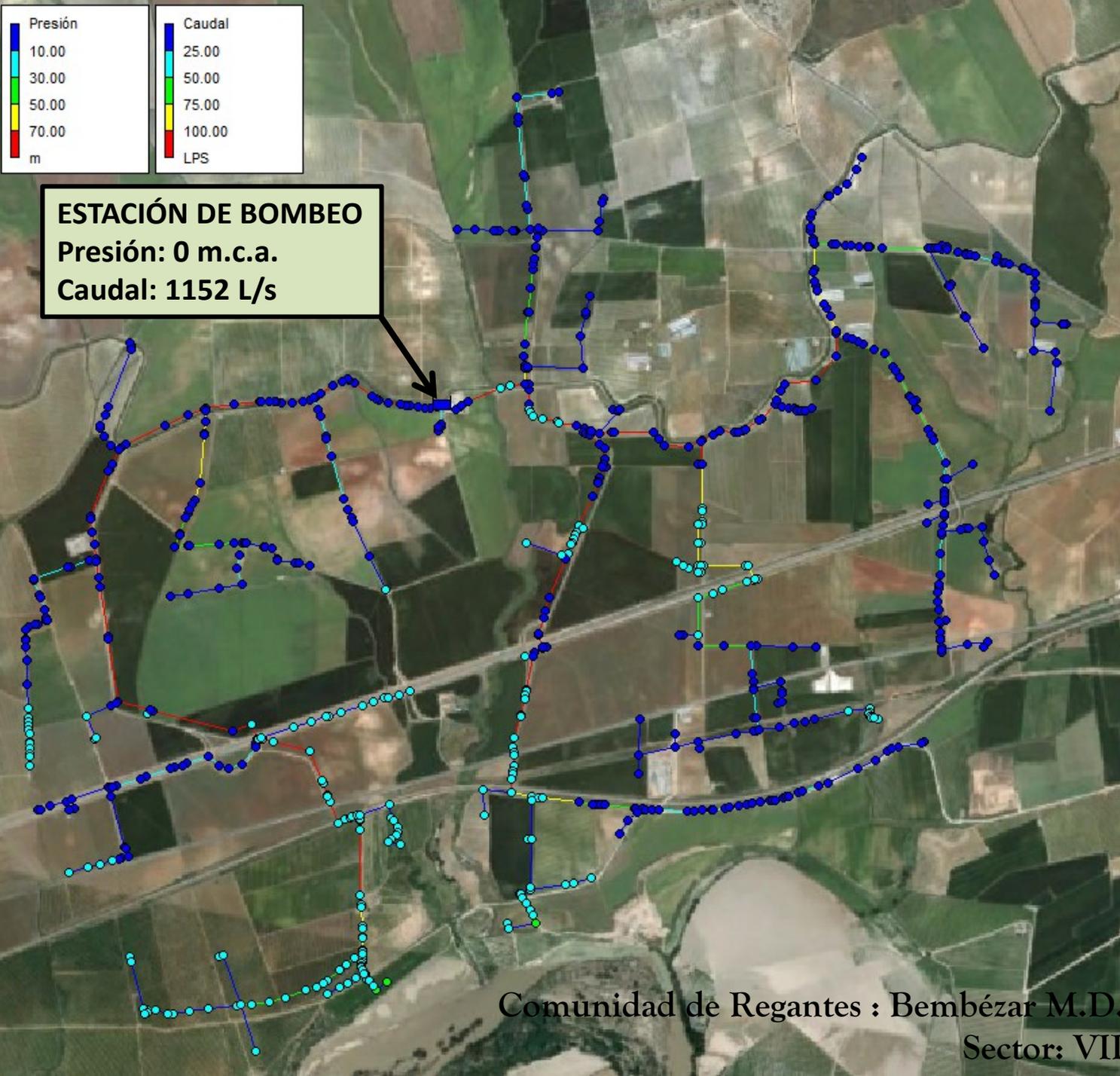
*Carrillo-Cobo, M. T., Rodríguez-Díaz, J. A., Camacho-Poyato, E. (2010). The role of energy audits in irrigated areas. The case of 'Fuente Palmera' irrigation district (Spain). Spanish Journal of Agricultural Research, 8(SUPPL. 2), S152-S161.*



# MENÚ



**ESTACIÓN DE BOMBEO**  
Presión: 0 m.c.a.  
Caudal: 1152 L/s



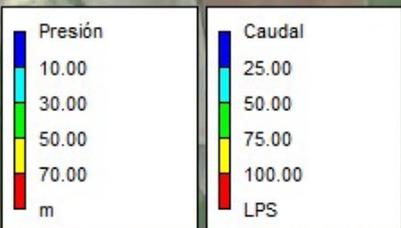
**PRESIÓN**  
(m.c.a.)



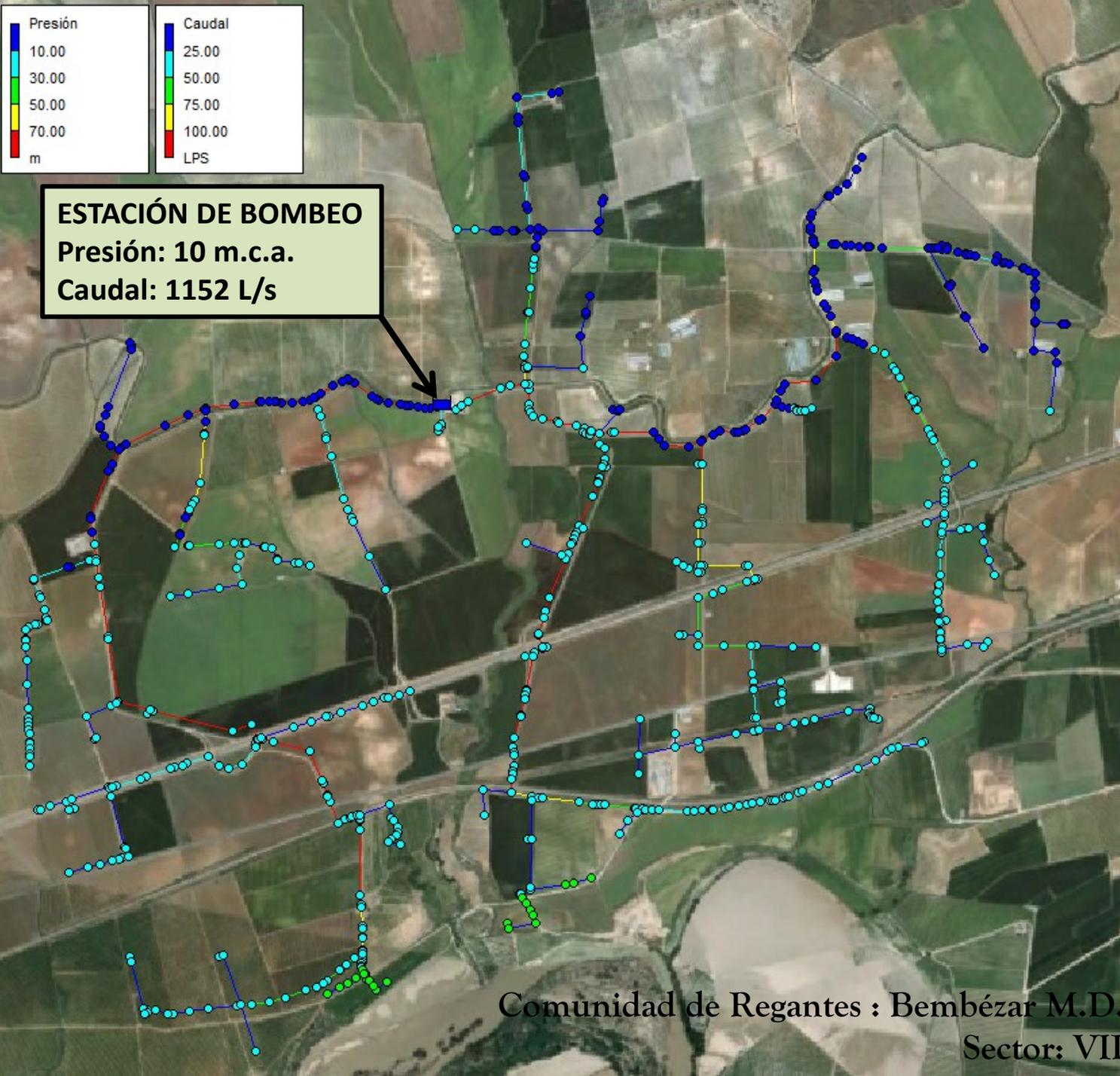
**EVOLUCIÓN  
DIARIA DE LA  
DEMANDA DE  
AGUA**

Comunidad de Regantes : Bembézar M.D.  
Sector: VII

# MENÚ



**ESTACIÓN DE BOMBEO**  
Presión: 10 m.c.a.  
Caudal: 1152 L/s

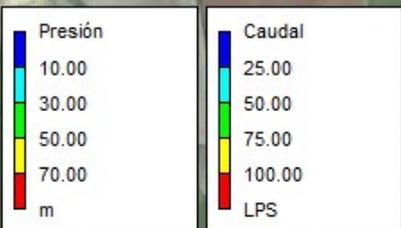


**PRESIÓN**  
(m.c.a.)

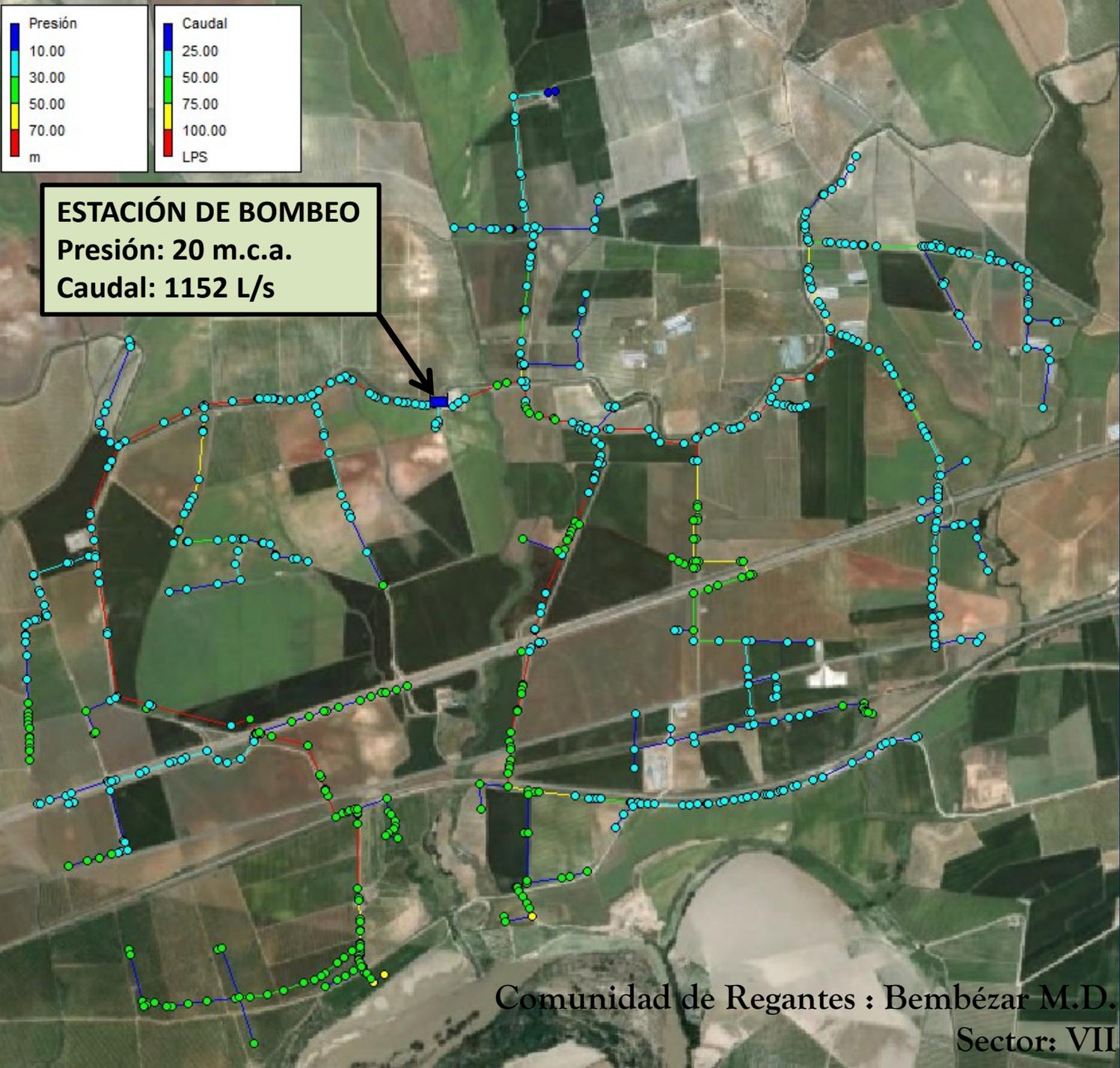


**EVOLUCIÓN  
DIARIA DE LA  
DEMANDA DE  
AGUA**

Comunidad de Regantes : Bembézar M.D.  
Sector: VII



**ESTACIÓN DE BOMBEO**  
 Presión: 20 m.c.a.  
 Caudal: 1152 L/s



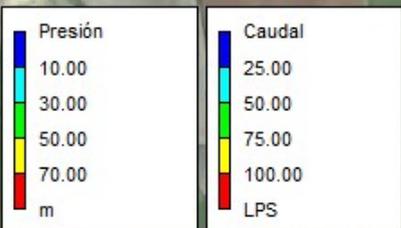
# MENÚ

**PRESIÓN**  
(m.c.a.)

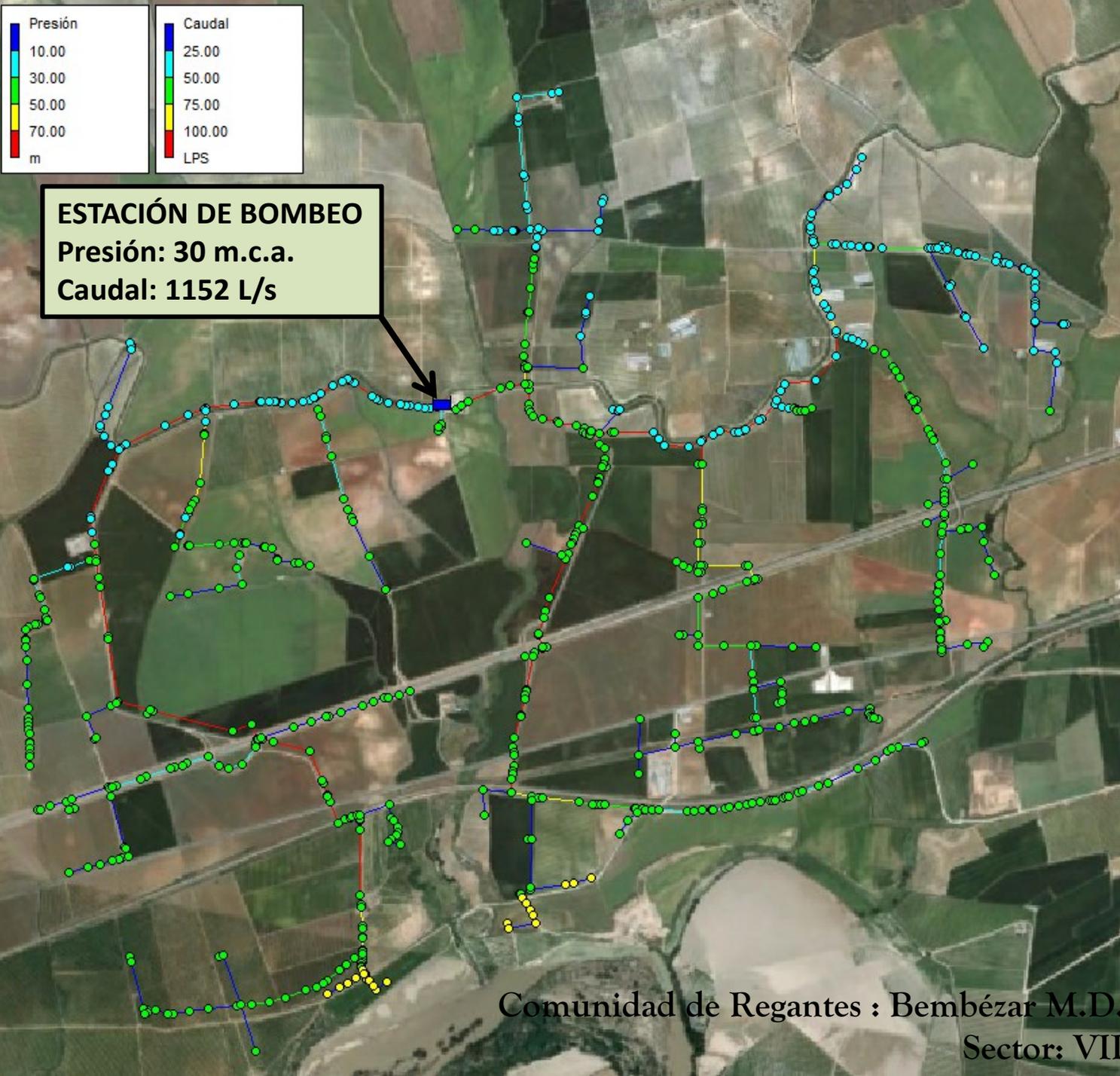


**EVOLUCIÓN  
 DIARIA DE LA  
 DEMANDA DE  
 AGUA**

Comunidad de Regantes : Bembézar M.D.  
 Sector: VII



**ESTACIÓN DE BOMBEO**  
 Presión: 30 m.c.a.  
 Caudal: 1152 L/s



# MENÚ

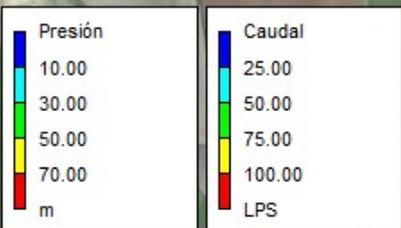
**PRESIÓN**  
(m.c.a.)



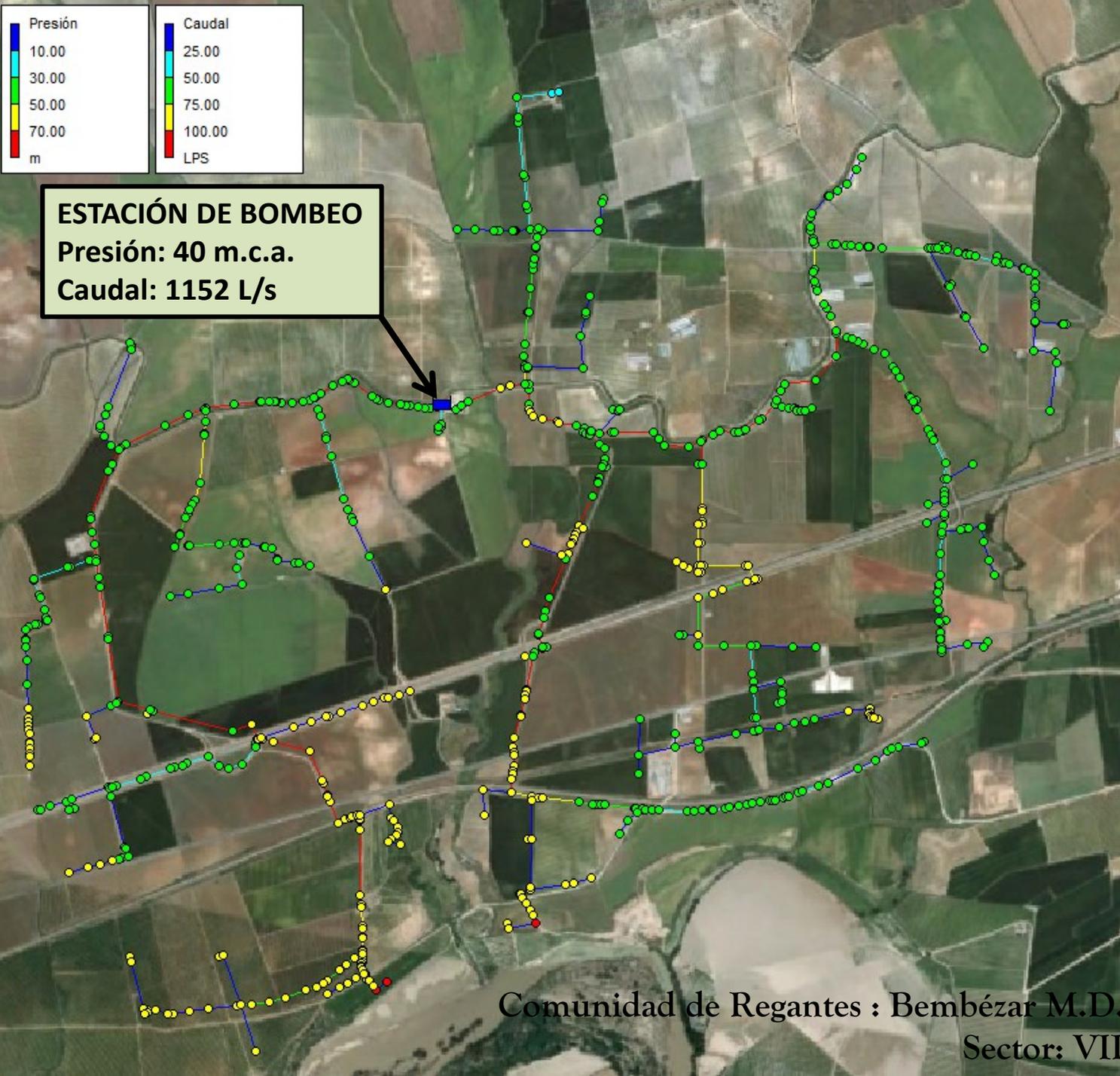
**EVOLUCIÓN  
 DIARIA DE LA  
 DEMANDA DE  
 AGUA**

Comunidad de Regantes : Bembézar M.D.  
 Sector: VII

# MENÚ



**ESTACIÓN DE BOMBEO**  
Presión: 40 m.c.a.  
Caudal: 1152 L/s



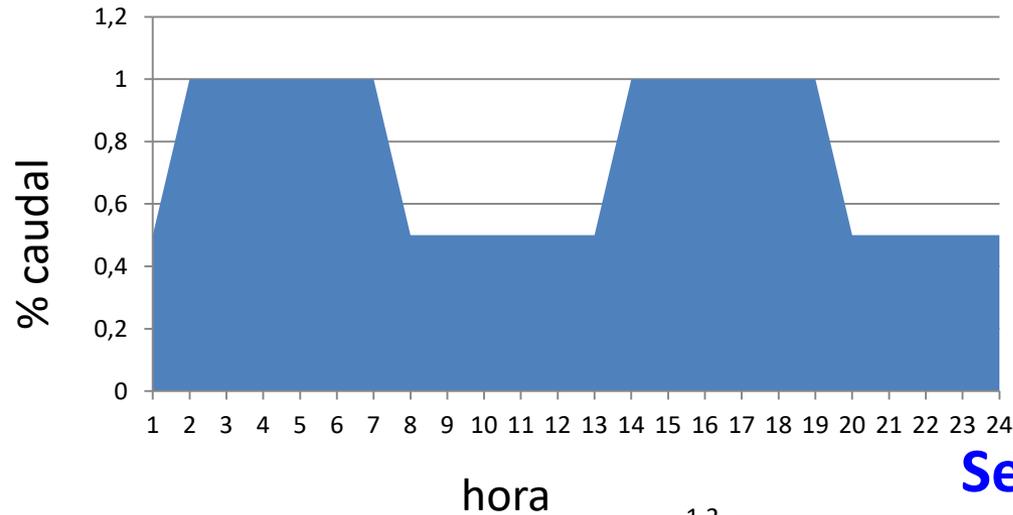
**PRESIÓN**  
(m.c.a.)



**EVOLUCIÓN  
DIARIA DE LA  
DEMANDA DE  
AGUA**

Comunidad de Regantes : Bembézar M.D.  
Sector: VII

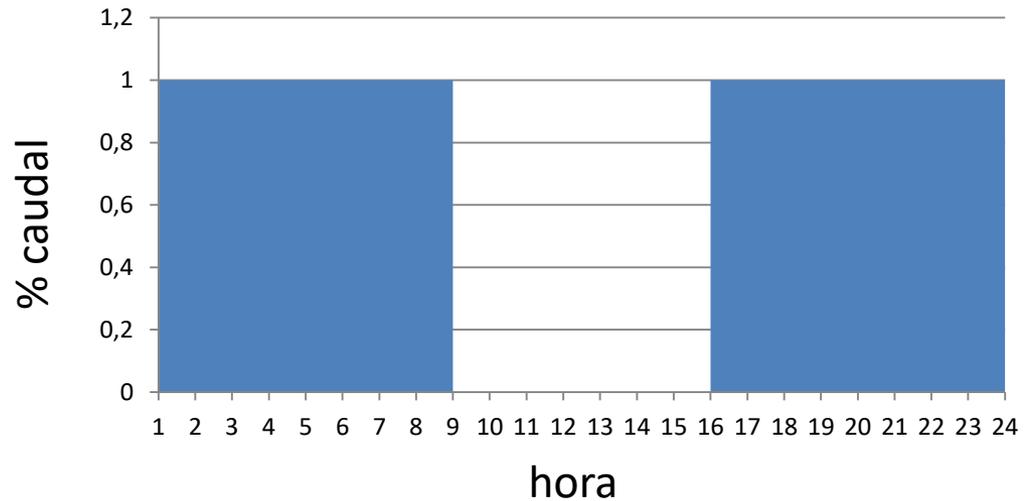
## Demanda



**Flexibilidad en la  
demanda**

**Organización en turnos**

## Sectorización

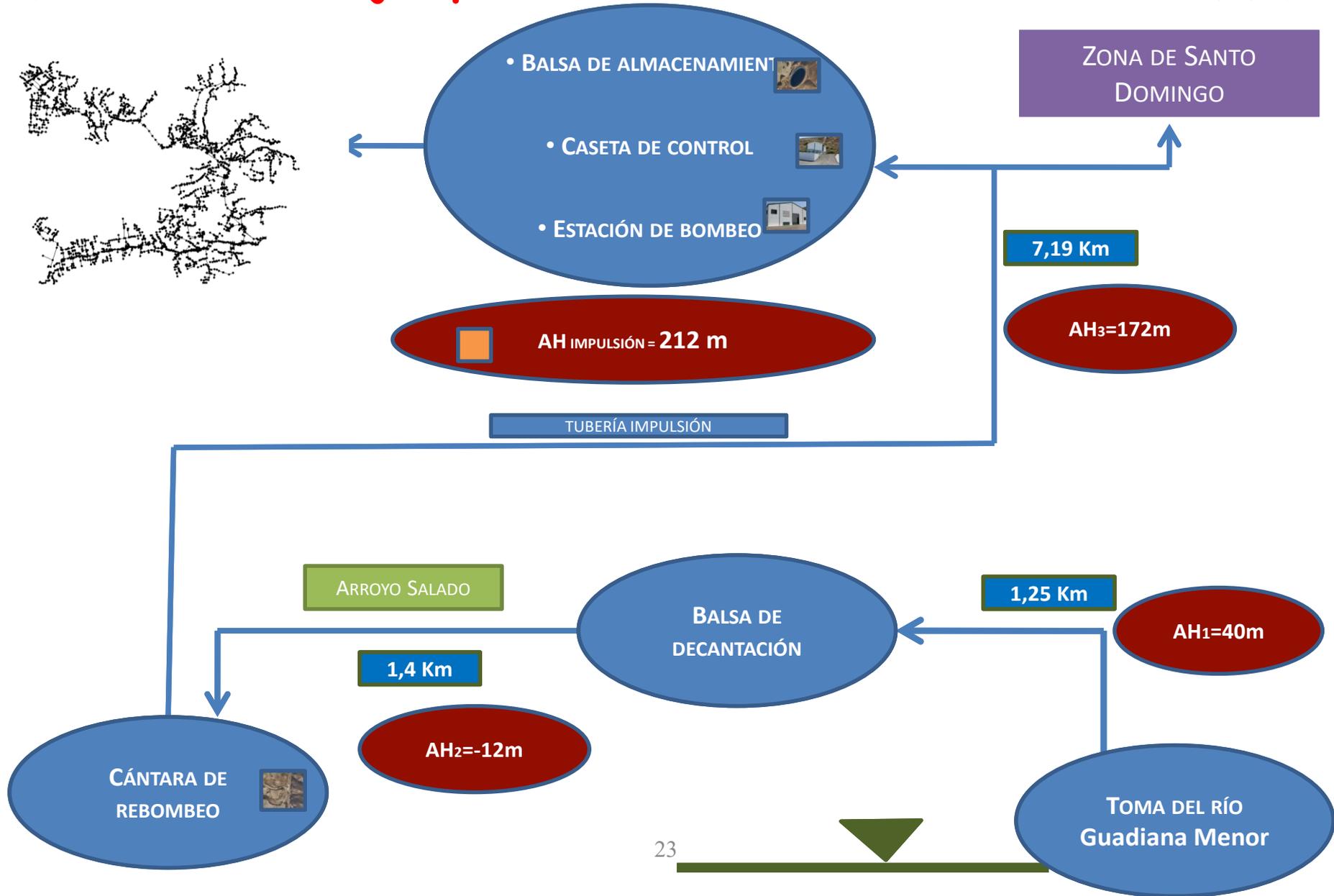
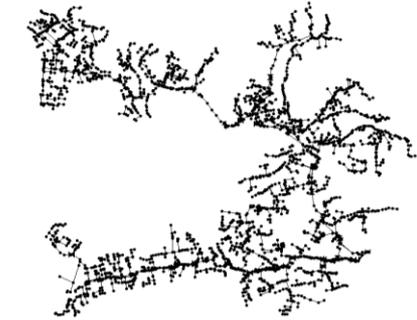


# Ahora bien la sectorización es compleja

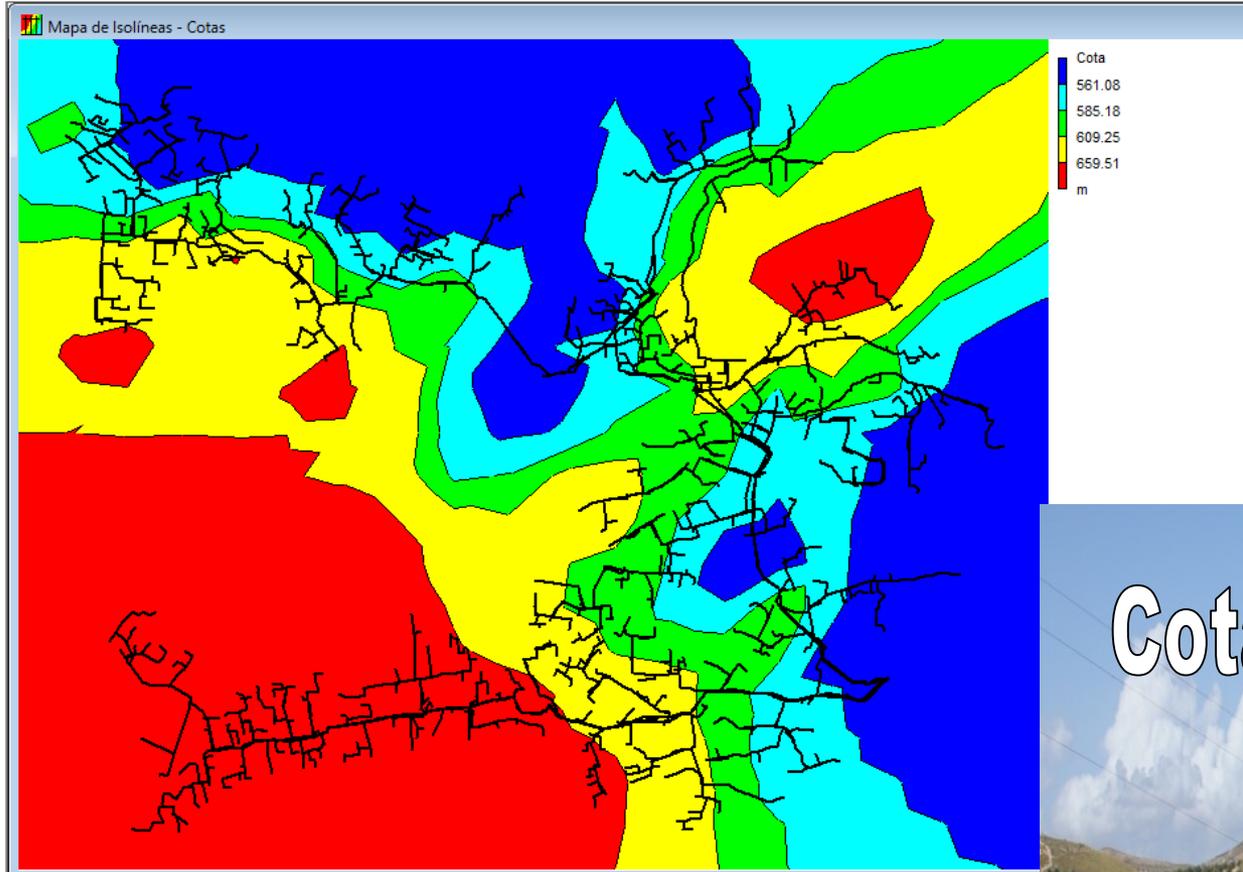
- Debe tener en cuenta los cultivos
- La topografía
- Requerimientos de presión
- La topología de la red
- Requiere la caracterización hidráulica de la red

*Carrillo-Cobo, M. T., Rodríguez Díaz, J.A., Montesinos, P., Luque, R. L., Poyato, E. C. (2011). Low energy consumption seasonal calendar for sectoring operation in pressurized irrigation networks. Irrigation Science, 29(2), 157-169.*

## Ejemplo:



# Diferencias de cota en la zona regable



9 sectores organizados en tres turnos, cada uno de ellos cuenta con 8 horas de riego en un mismo día



## Consumo energético

		Superficie (ha)	Agua suministrada (m <sup>3</sup> )	Consumo energético anual (MWh)	Energía por unidad de superficie (MWh/ha)	Energía por unidad de volumen kWh/m <sup>3</sup>
A la demanda		1275	1147644	2108	1.65	1.84
Sectorizado	Bajo 1	267	240453	281	1.05	1.17
	Bajo 2	240	215649	251	1.05	1.16
	Bajo 3	238	213849	260	1.10	1.22
	Medio 1	98	88443	122	1.25	1.38
	Medio 2	106	95310	113	1.07	1.19
	Medio 3	73	65934	93	1.27	1.41
	Alto 1	92	82899	143	1.55	1.73
	Alto 2	95	85347	136	1.43	1.59
	Superalto	66	59760	116	1.75	1.95
Total sectorizado		1275	1147644	1516	1.28	1.42

## Determinación de puntos críticos de presión

### *"Hidrantes con requerimientos energéticos especiales"*

La energía necesaria en la estación de bombeo para suministrar agua a un hidrante  $i$  es:

$$H_p = H_{ei} + H_{li} + H_{req_i}$$

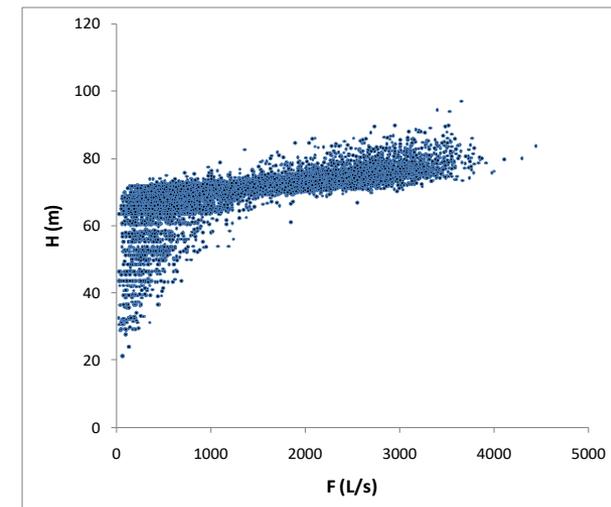
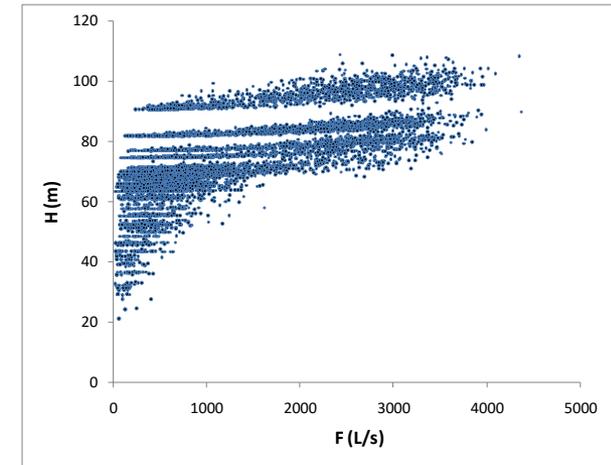
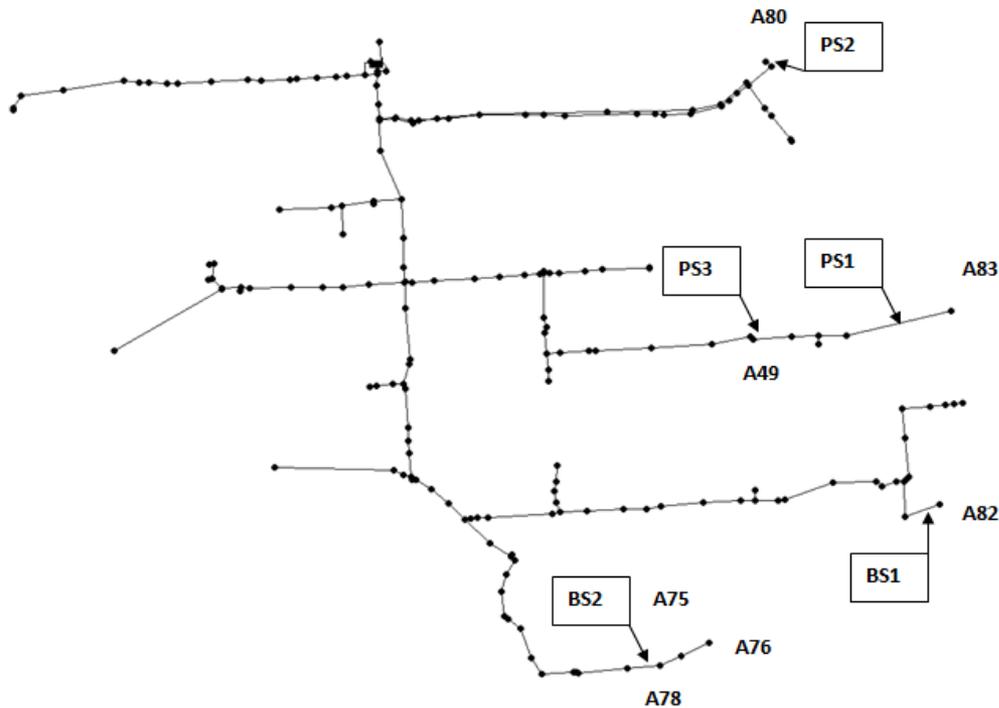
$H_e$  diferencia de cota

$H_l$  pérdida de carga en las tuberías

$H_{req}$  presión requerida en hidrante para el correcto funcionamiento del sistema de riego

*Por tanto un hidrante puede ser crítico debido a su diferencia de cota en relación a la estación de bombeo o bien por su distancia"*

## C.R. Fuente Palmera



Rodríguez Díaz, J. A., Montesinos, P., Poyato, E. C. (2012). Detecting critical points in on-demand irrigation pressurized networks - A new methodology. *Water Resources Management*, 26(6), 1693-1713

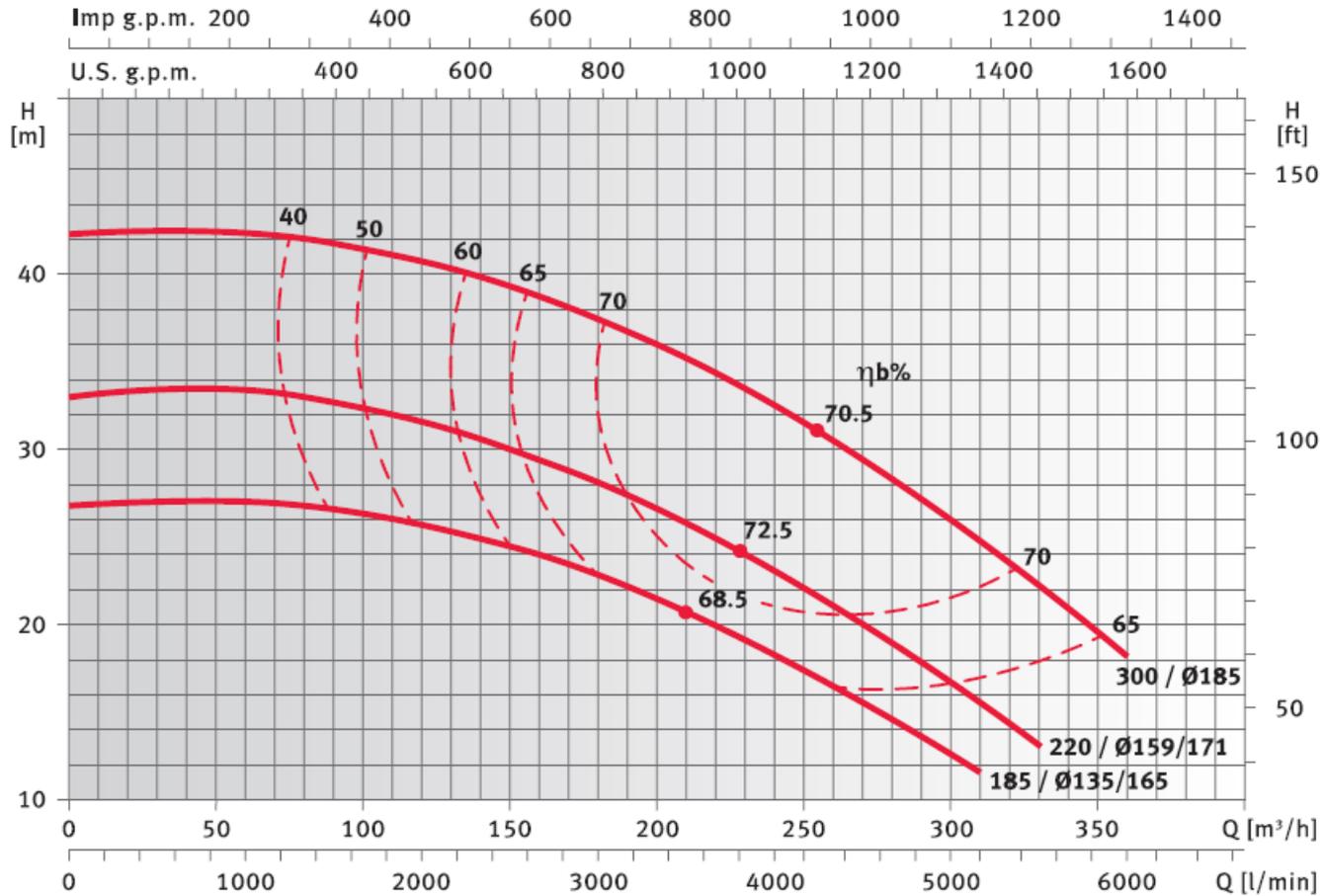
## Correcto funcionamiento de la estación de bombeo



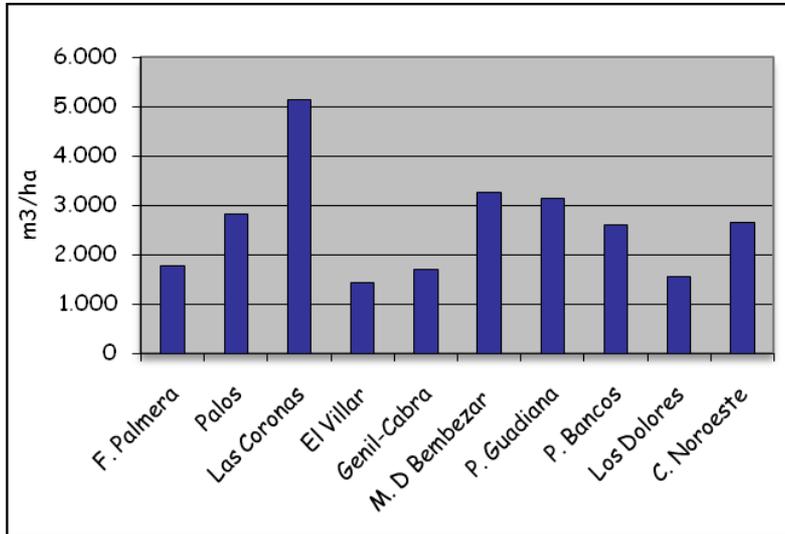
Las estaciones de bombeo son sistemas complejos con varias bombas en paralelo que se activan secuencialmente según la demanda



# Adecuada elección del bombeo

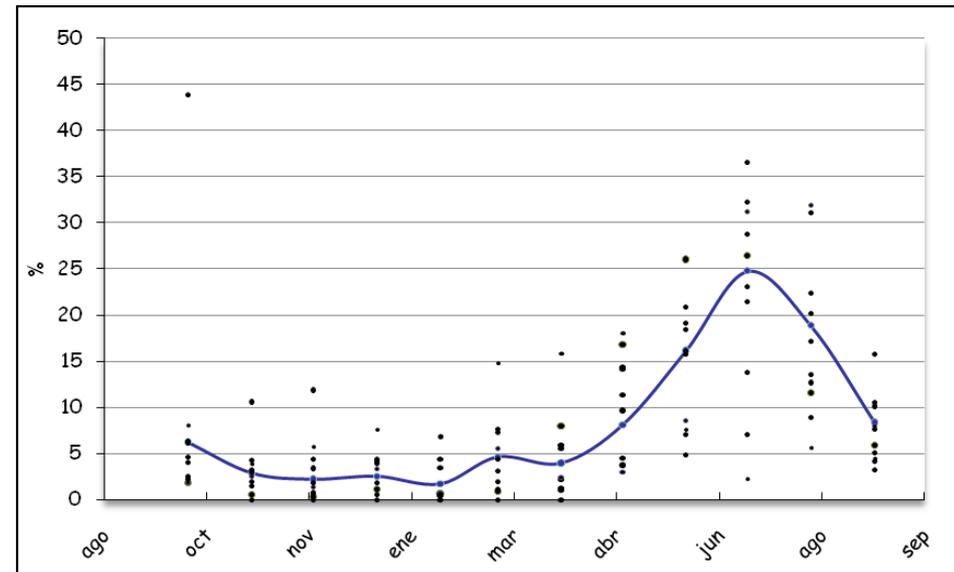


## Concentración de la demanda en horas de bajo coste



← Dotaciones medias

Distribución  
de consumos



	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO		JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICEMBRE
						1ª quincena	2ª quincena						
0a 1 h													
1a 2 h													
2a 3 h													
3a 4 h													
4a 5 h	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
5a 6 h													
6a 7 h													
7a 8 h													
8a 9 h	P2	P2				P4				P4			
9a 10 h							P2	P2					P2
10a 11 h													
11a 12 h	P1	P1	P4			P3				P3		P4	P1
12a 13 h													
13a 14 h													
14a 15 h													
15a 16 h	P2	P2		P5	P5		P1	P1	P6		P5		P2
16a 17 h													
17a 18 h													
18a 19 h													
19a 20 h	P1	P1	P3			P4				P4		P3	P1
20a 21 h													
21a 22 h													
22a 23 h	P2	P2					P2	P2					P2
23a 24 h			P4									P4	

**NOTA:** El PERIODO 6 incluye, además de las horas señaladas, todas las horas de fines de semana y fiestas nacionales  
Fiestas nacionales no sustituibles de fecha fija: 1 enero, 1 mayo, 15 agosto, 12 octubre, 1 noviembre, 6, 8 y 25 diciembre.

*Orden ITC 2794/2007*

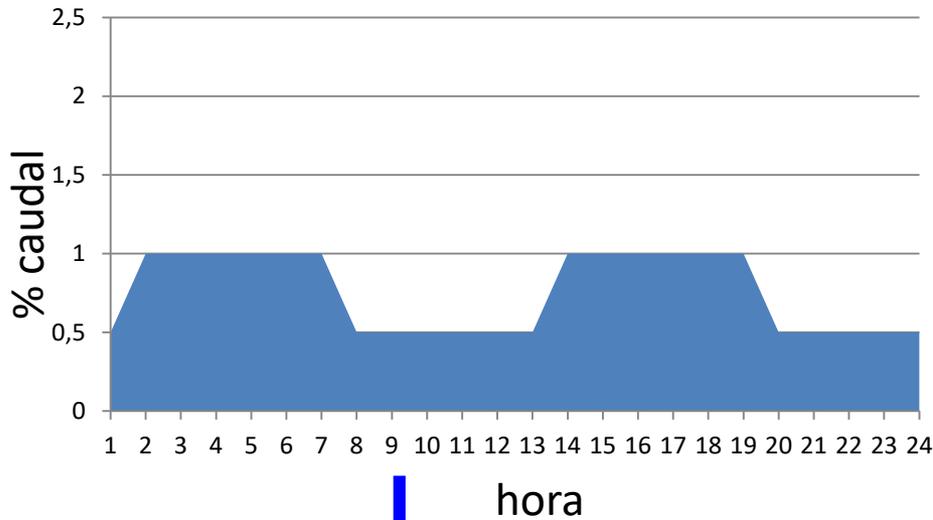
# NUEVO CALENDARIO

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
0 a 1 h	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
1 a 2 h												
2 a 3 h												
3 a 4 h												
4 a 5 h												
5 a 6 h												
6 a 7 h												
7 a 8 h												
8 a 9 h	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2
9 a 10 h	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1
10 a 11 h												
11 a 12 h												
12 a 13 h												
13 a 14 h	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2
14 a 15 h												
15 a 16 h												
16 a 17 h												
17 a 18 h	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1
18 a 19 h												
19 a 20 h												
20 a 21 h												
21 a 22 h	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2
22 a 23 h												
23 a 24 h												

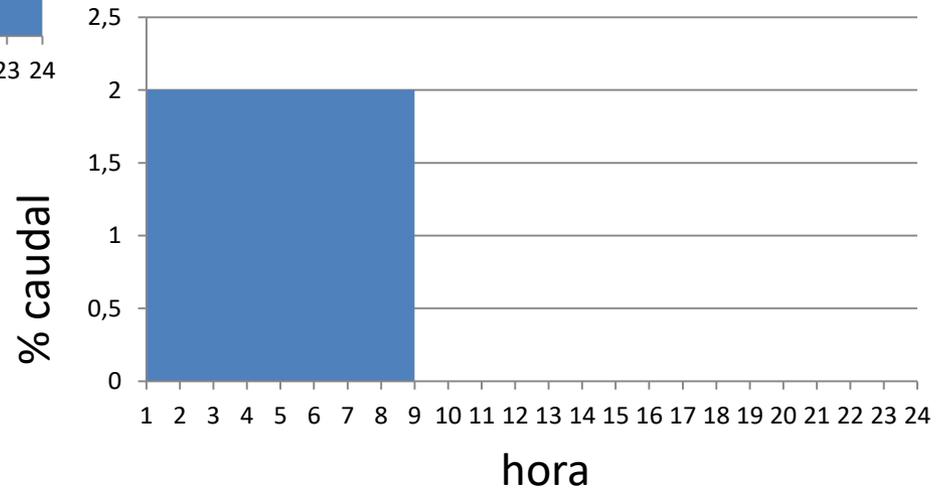
NOTA: EL PERIODO 6 incluye, además de las horas indicadas, las 48 horas de fin de semana y festivos nacionales no sustituibles de fecha fija

# Concentración de la demanda en horas de bajo coste

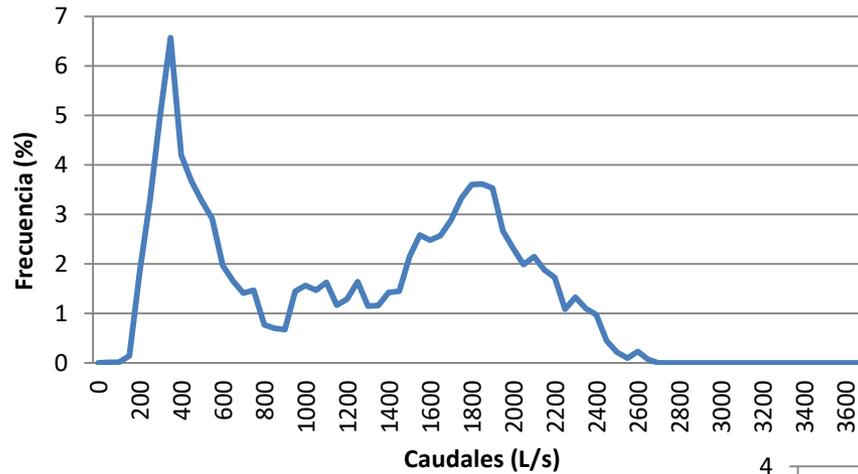
**Demanda**



**Concentración demanda**



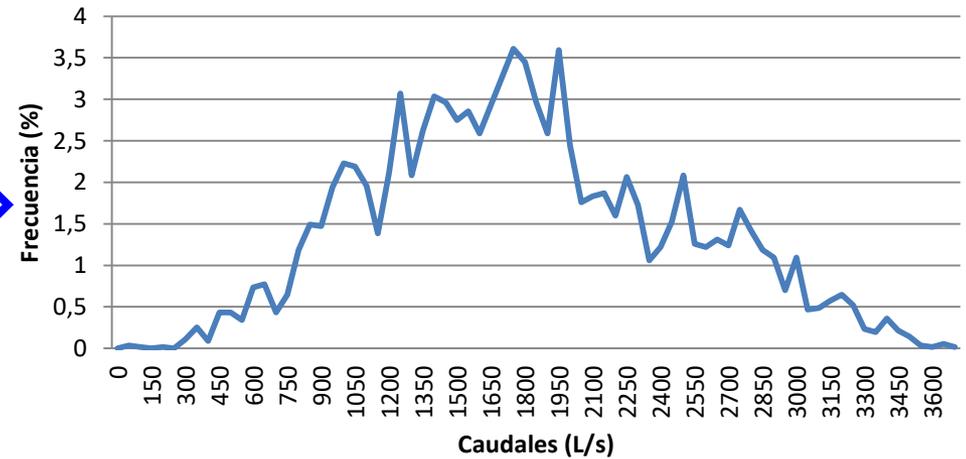
## AÑO 2007

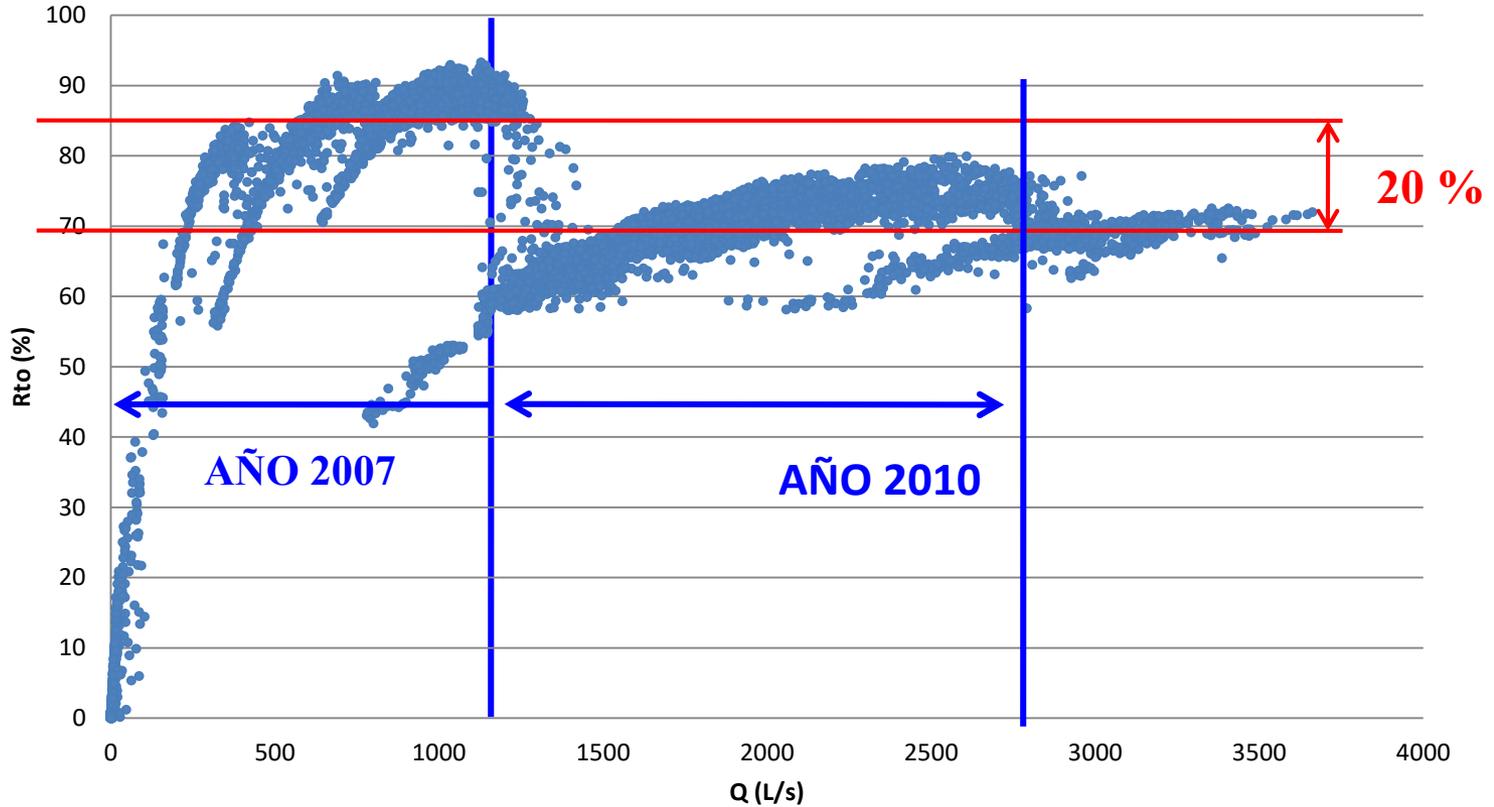


← **Distribución de caudales a la demanda**

## AÑO 2010

**Distribución de caudales con concentración de la demanda en P6** →





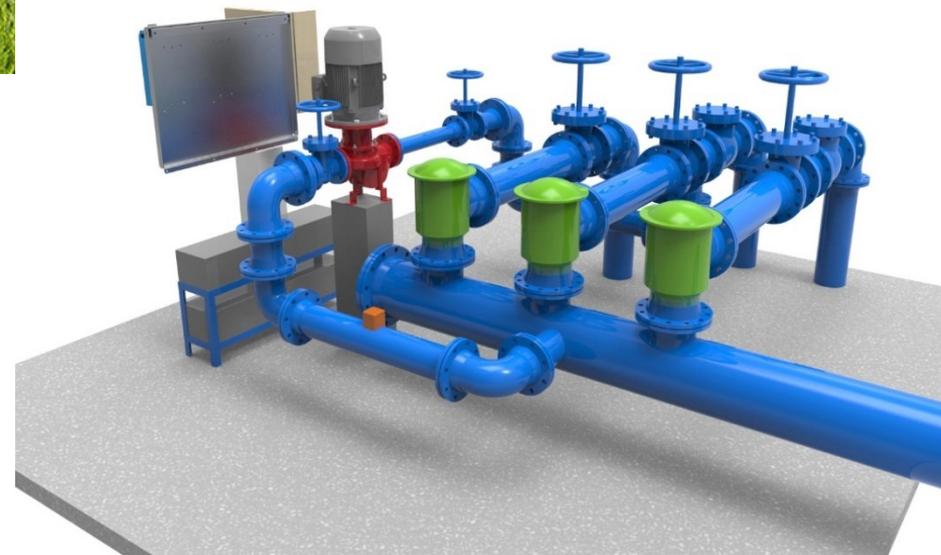
## Paradoja:

- Hemos ahorrado coste pero....
- Hemos consumido más energía

**Hemos ahorrado costes pero se ha aumentado el consumo unitario de energía**

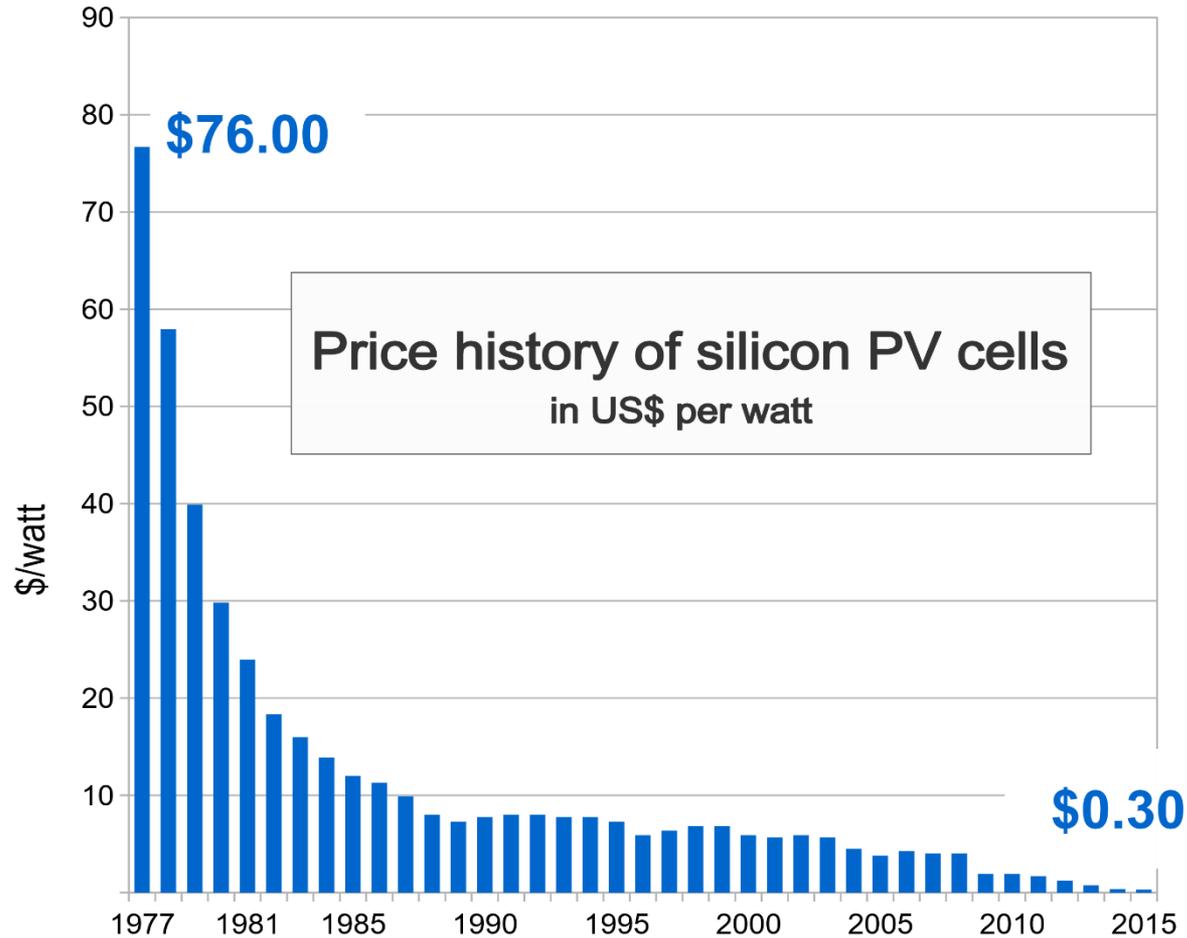
<b>kWh/m<sup>3</sup></b>	<b>Campaña 2008/2009</b>	<b>Campaña 2009/2010</b>
<b>Abril</b>	0,3442	0,3402
<b>Mayo</b>	0,3712	0,3761
<b>Junio</b>	0,3766	0,3673
<b>Julio</b>	0,3588	0,3781
<b>Agosto</b>	0,3861	0,4015
<b>Septiembre</b>	0,3741	0,3849
<b>Junio-Septiembre</b>	0,3734	0,3852
<b>*Caudales más frecuentes</b>	0,3283	0,4150

# Aplicaciones de las energías renovables en el regadío

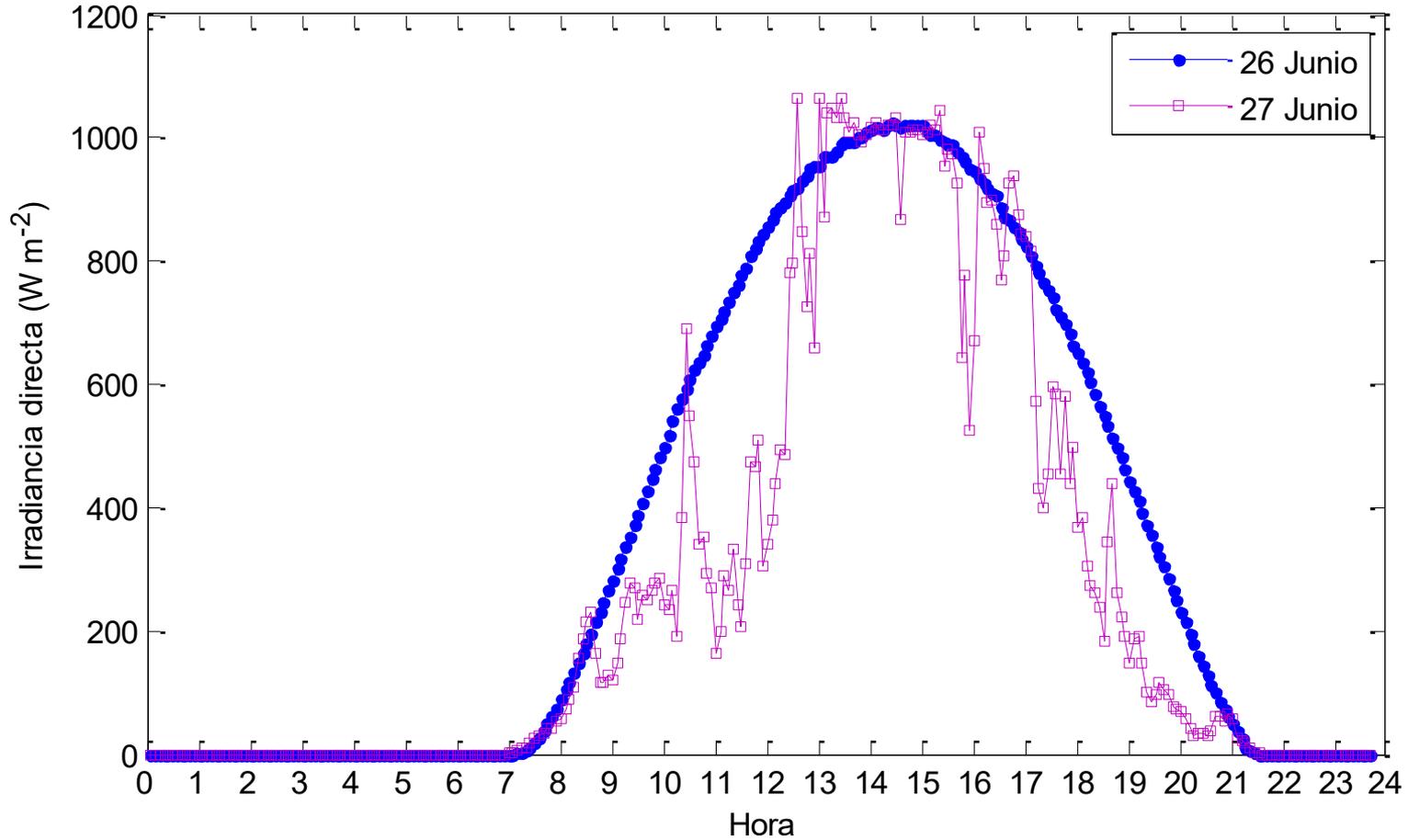




# Coste de instalar 1 W con energía Fotovoltaica



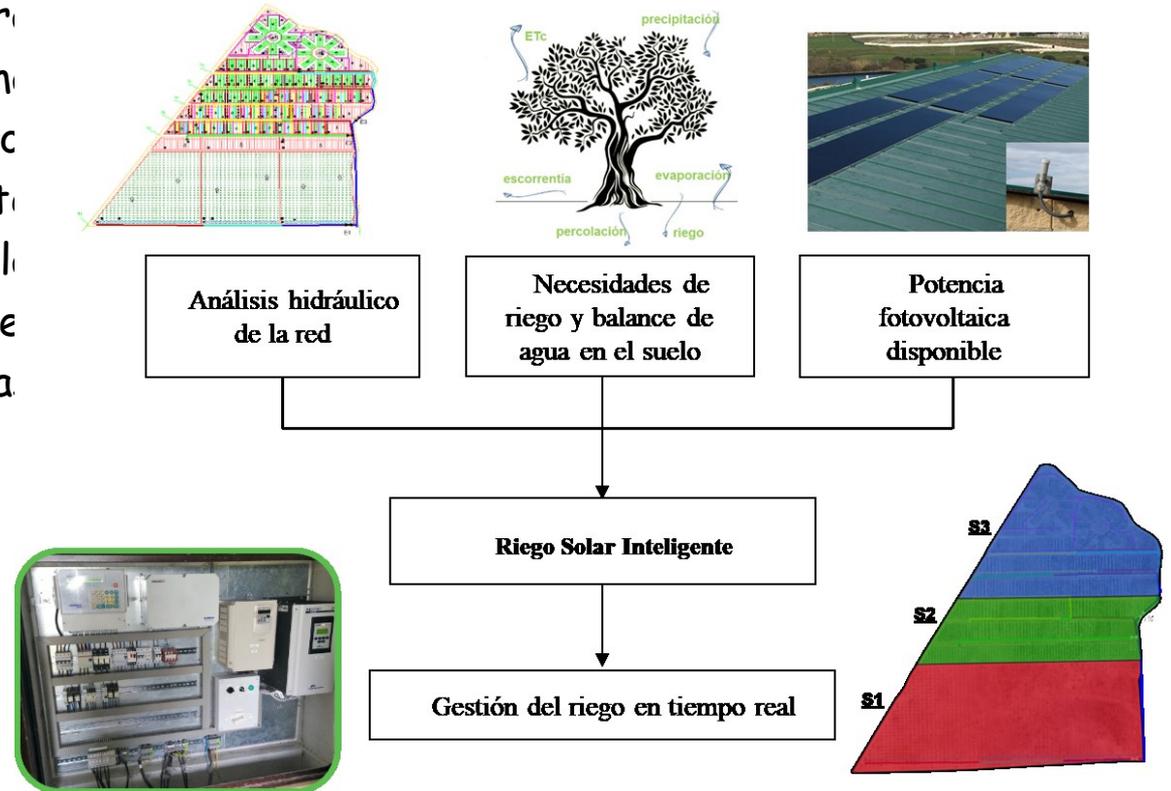
## Potencia generada por un sistema fotovoltaico



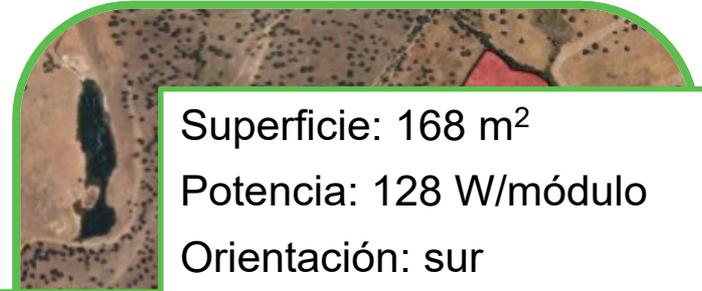
# Proyecto TEMAER

## Riego Solar Inteligente

Sistema de bombeo de agua mediante energía solar por incorporando un sistema inteligente de gestión del riego basado en la energía proveniente de los módulos fotovoltaicos, la configuración hidráulica de sistema y las necesidades de la plantas.



# Riego Solar Inteligente en la Finca Experimental del Campus de Rabanales



Superficie: 168 m<sup>2</sup>

Potencia: 128 W/módulo

Orientación: sur

Total módulos: 120

Potencia Pico: 15,3 kW



# Riego Solar Inteligente en la Finca Experimental del Campus de Rabanales



- Canal del Guadalmeallato
- Distancia a parcela: 1 km
- Cota bomba: 153,7 m





- Estación de filtrado
- Caudalímetro
- Programador control riego
- Variador de frecuencia
- Conexión por tecnología móvil

# Riego Solar Inteligente en la Finca Experimental del Campus de Rabanales



Parcela olivar

**3 Sectores de riego:** 6,1 ha, 3,0 ha y 4,2 ha

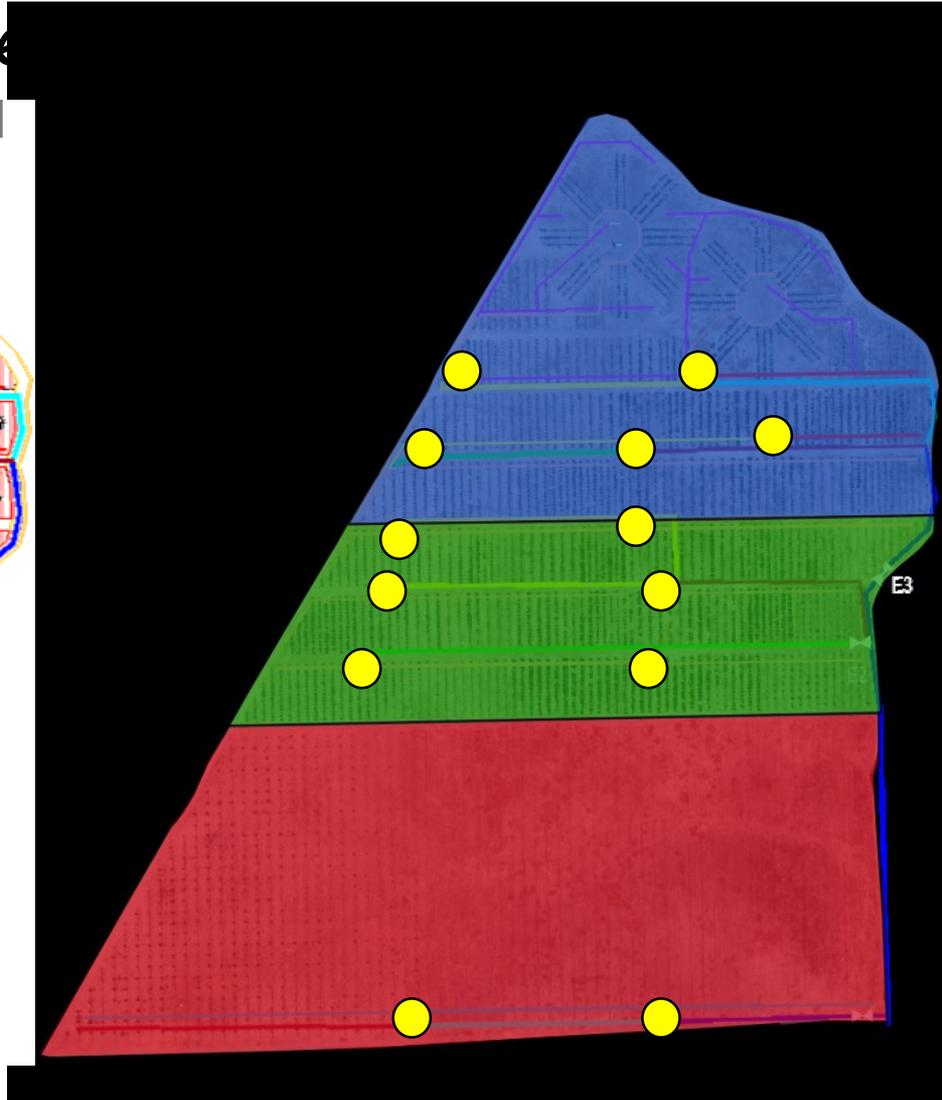
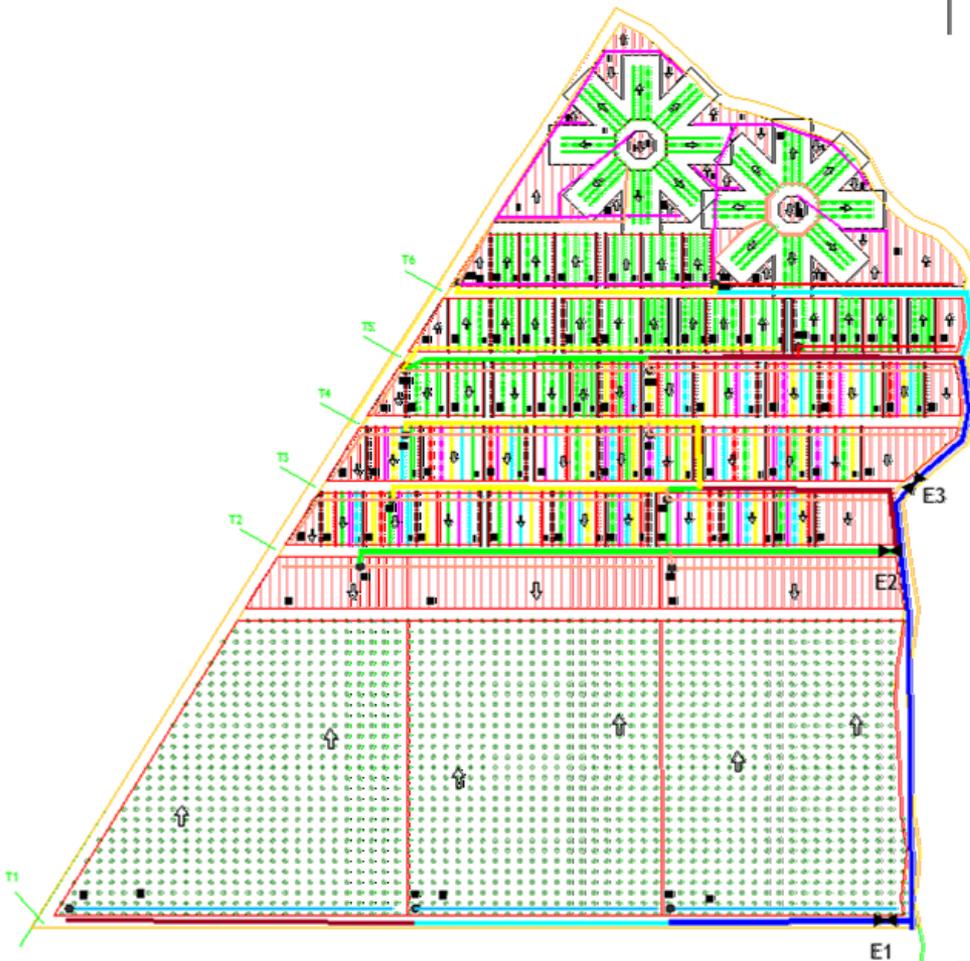
**Total sub-parcelas:** 80

**Total hidrantes:** 13

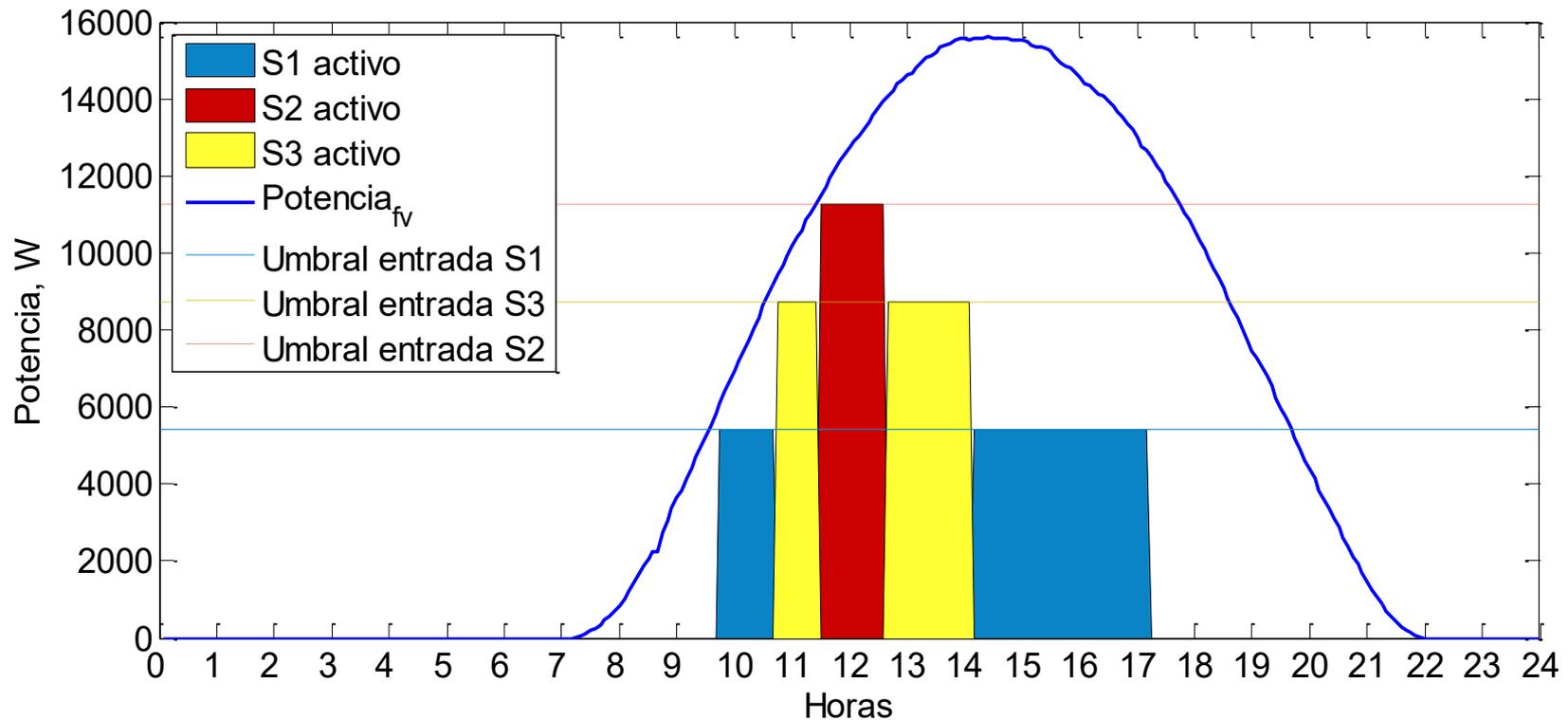
**Gotos:** 3,2-1,6 l/h; autocompensantes (1-4 bar)



# Modelos hidráulicos para una sectorización y gestión óptima del riego según la potencia

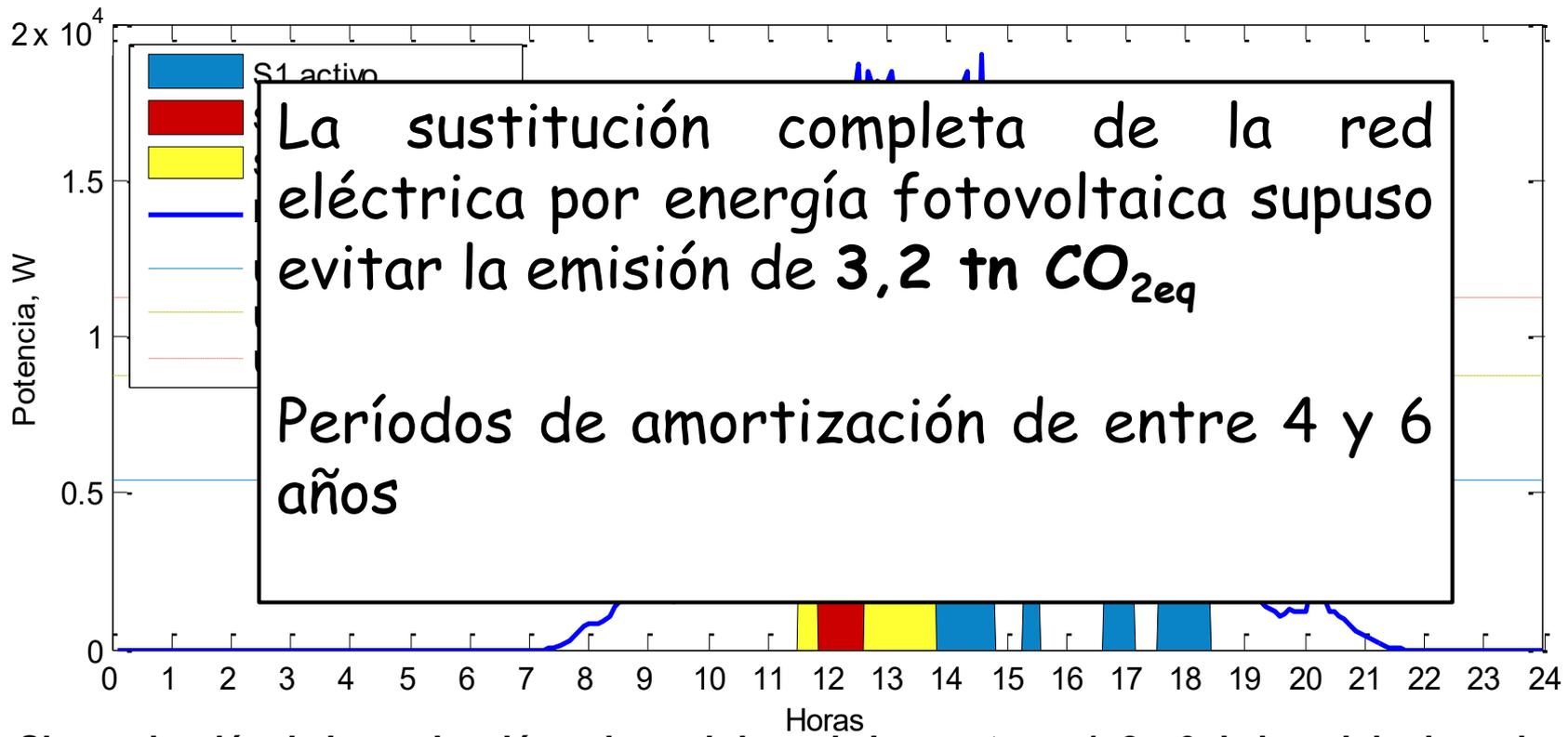


## *Sincronización de la producción de potencia fotovoltaica y las necesidades de potencia y tiempo de riego de los sectores*



**Sincronización de la producción solar y el riego de los sectores 1, 2 y 3 de la red de riego de la parcela experimental de Rabanales (Universidad de Córdoba) para el 30 de junio de 2013.**

## *Sincronización de la producción de potencia fotovoltaica y las necesidades de potencia y tiempo de riego de los sectores*

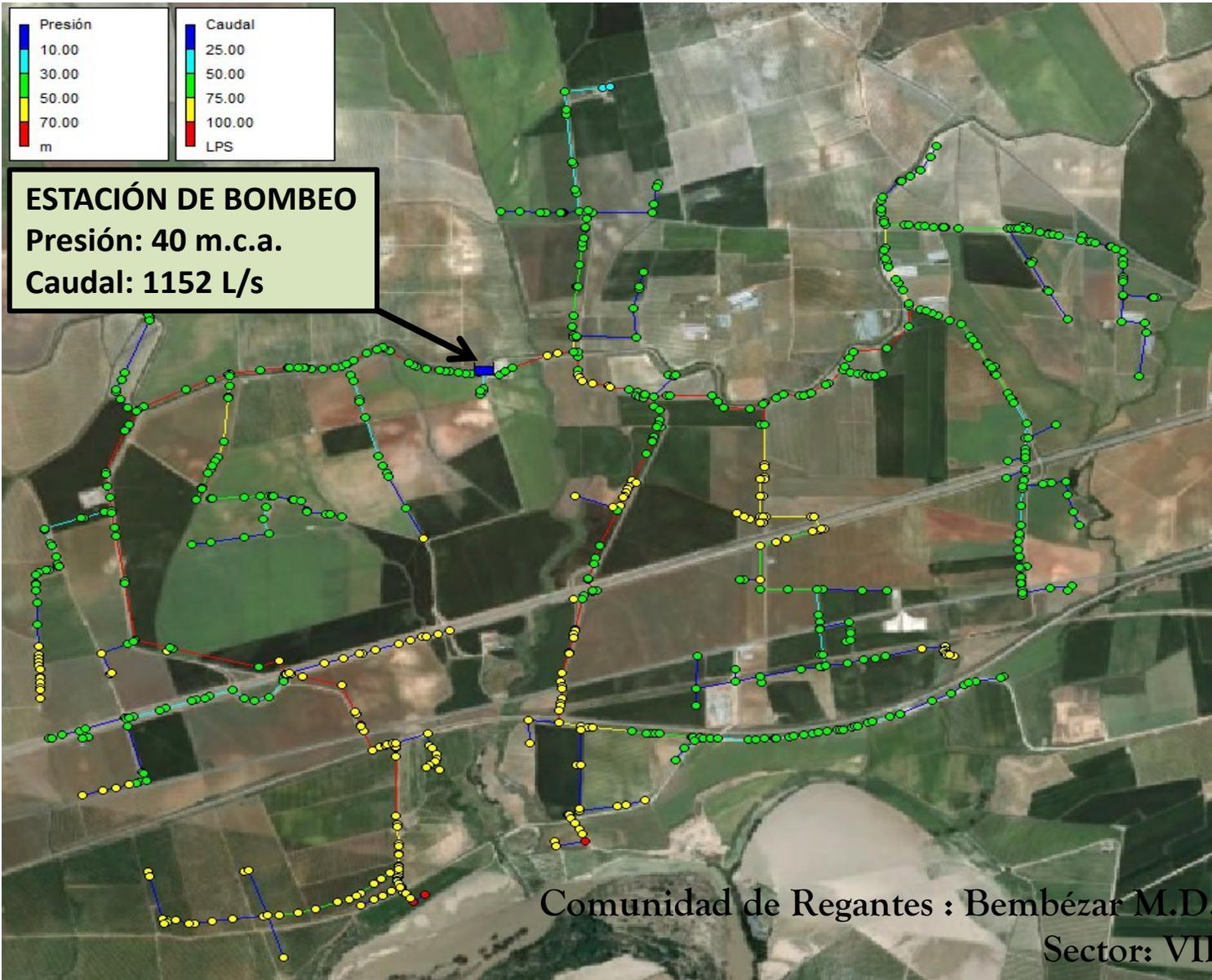


**Sincronización de la producción solar y el riego de los sectores 1, 2 y 3 de la red de riego de la parcela experimental de Rabanales (Universidad de Córdoba) para el 21 de Mayo de 2013.**

*Planta solar de 5.25 MWp.*



# Recuperación de energía con PATs



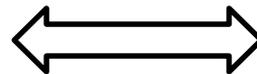
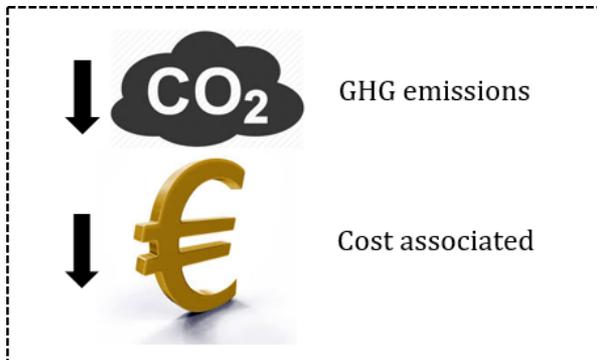
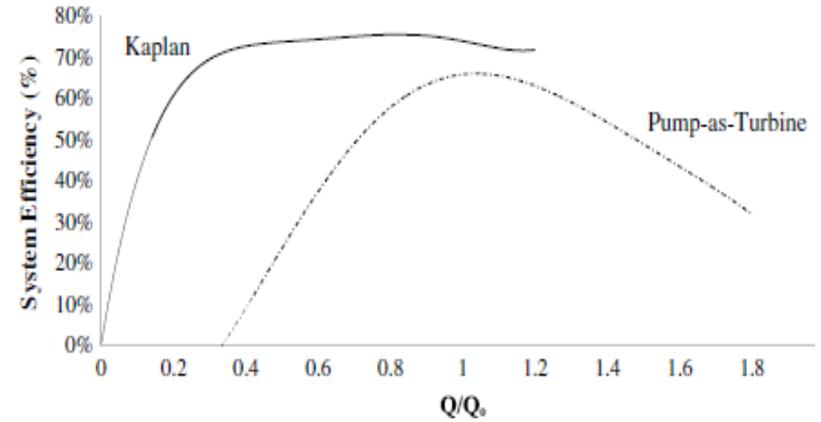
PRESIÓN  
(m.c.a.)



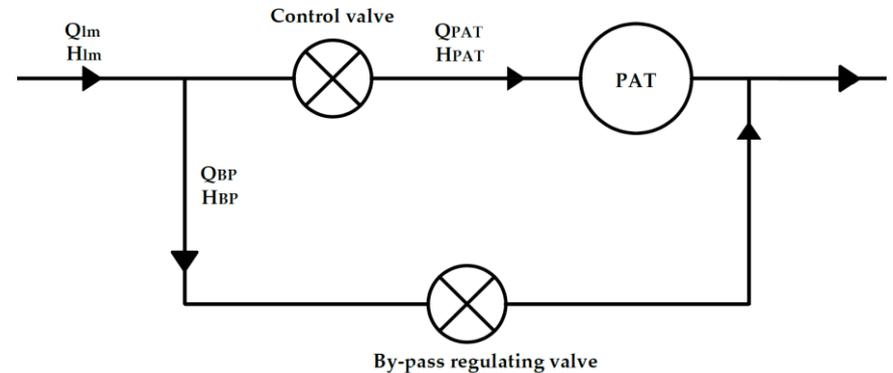
EVOLUCIÓN  
DIARIA DE LA  
DEMANDA DE  
AGUA

# Tecnología: Bombas trabajando como turbinas (PaTs)

<https://www.redawn.eu/>



*Diseño adecuado*



## Recuperación a nivel de hidrante: Caso de estudio

- Comunidad de regantes de la margen izquierda del Genil
- 6450 ha regadas
- Cultivos: Naranjos, olivos, almendros, nogales

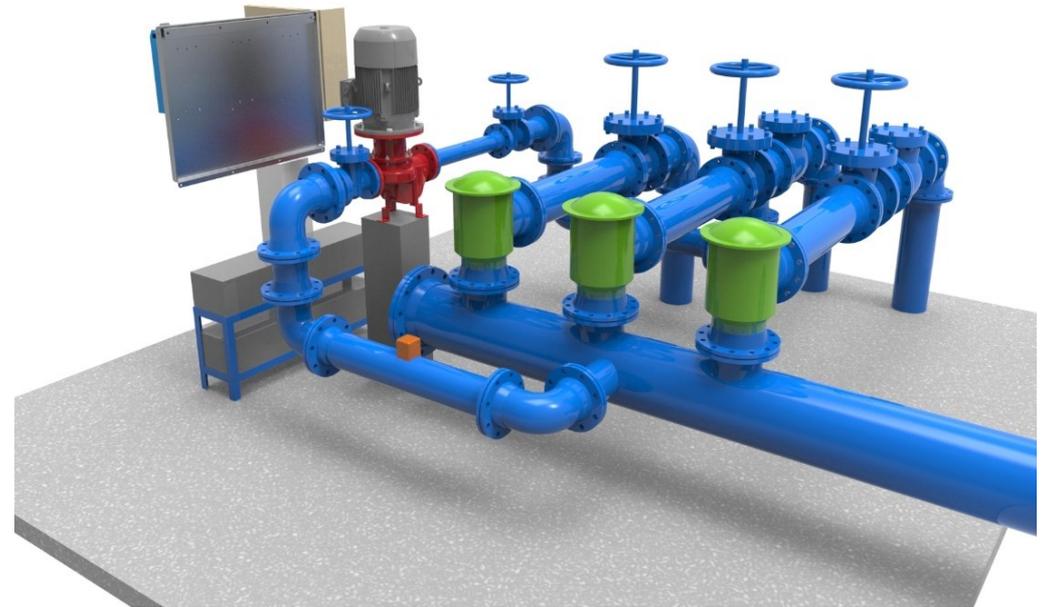
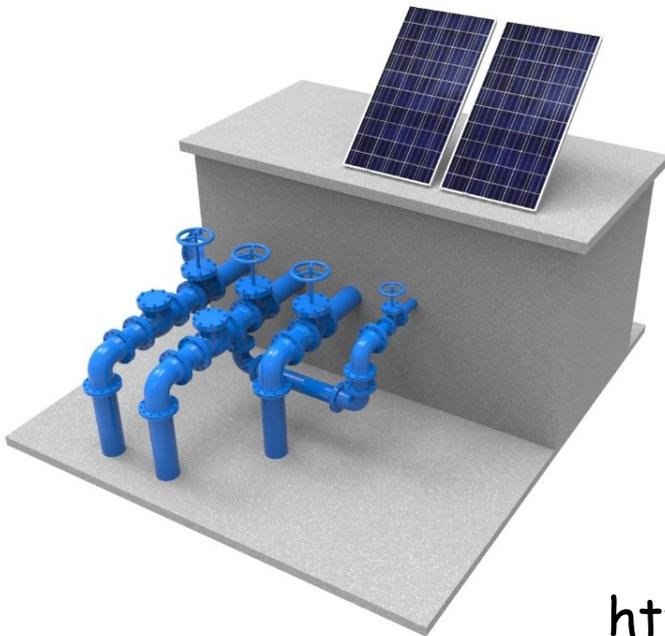


### ¿Por qué es una solución atractiva?

- Consumo energético durante el riego.
- Exceso de presión existente en los hidrantes.
- Energía disipada en VRP

### Solución adoptada

- Planta híbrida: hidroeléctrica + solar
- Sistema aislado con baterías
- 4 kW potencia nominal: 30 l/s – 20m
- Pico de hasta 18 kW en trifásica



<https://www.redawn.eu/es/irrigation-andalucia>

<https://www.redawn.eu/virtual-tours>

## *Construcción, puesta en marcha y prueba*



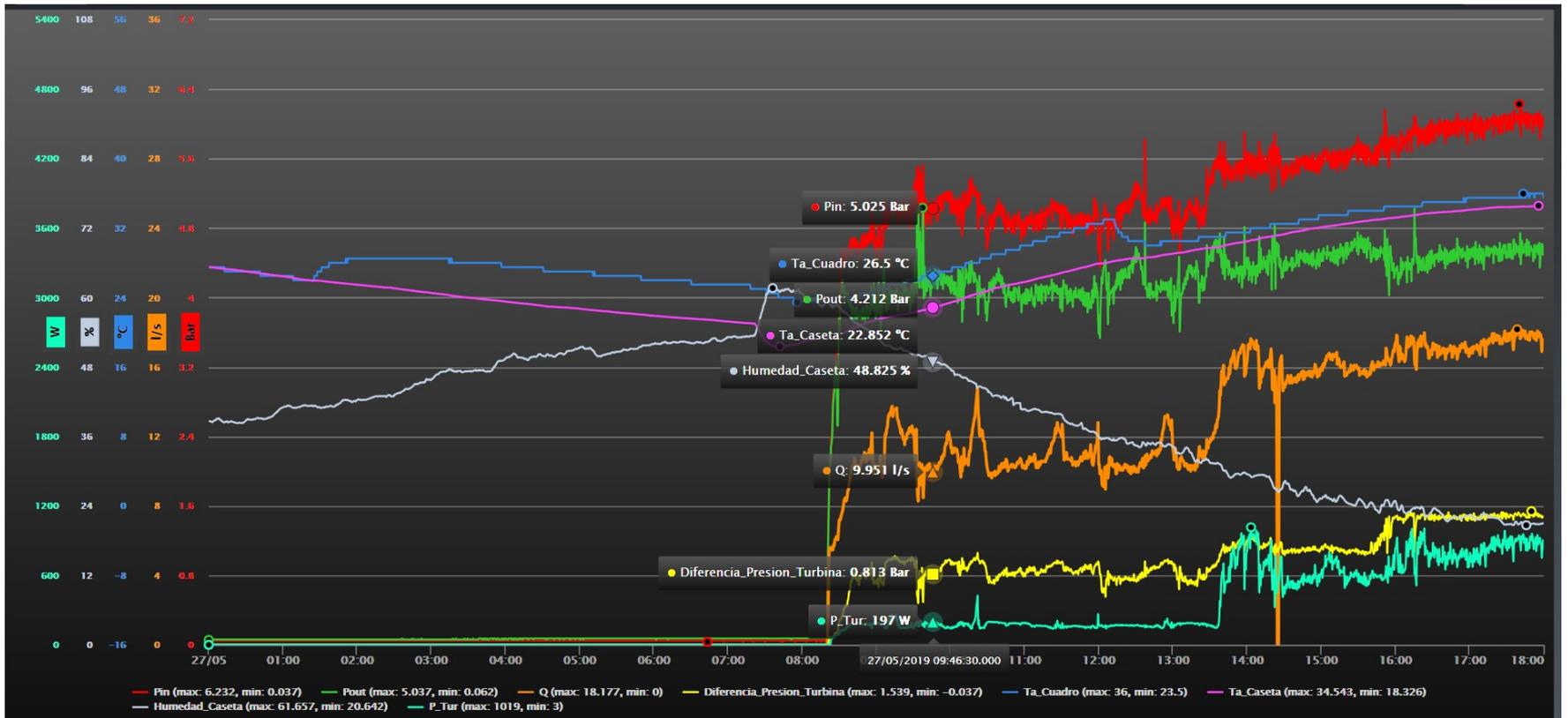
Reemplazando generador diesel → 100% Emisiones evitadas

- Funcionamiento ≈ 3000 horas/año
- Energía potencial: 12 MWh



- Beneficios ambientales/año > 9.5 t eCO<sub>2</sub>
- Ahorro económico/año > 3,000€

## Esquema y monitorización



# Conclusiones

- El uso eficiente de la energía constituye un nuevo gran reto para el regadío, tanto desde un punto de vista ambiental como económico.
- La reducción de costes energéticos es posible. Frecuentemente, son necesarios cambios en la gestión de la demanda y en la red de riego.
- Hay que dejarse asesorar, las soluciones son específicas a cada zona regable.
- Las energías renovables comienzan a ser una alternativa viable para el suministro de agua a bajo coste. Se requieren sistemas de gestión del riego adaptados a las oscilaciones en la potencia disponible.

# Gracias por su atención

**Jorge García Morillo**

**Tlf.:957218515 / 648639851**

**Email: [jgmorillo@uco.es](mailto:jgmorillo@uco.es)**

**Universidad de Córdoba**

**Edificio da Vinci**

**Campus de Rabanales,14071 Córdoba**