



AIMCRA

ASOCIACIÓN DE INVESTIGACIÓN PARA LA MEJORA
DEL CULTIVO DE LA REMOLACHA AZUCARERA

ESPECIAL
RIEGO Y
ENERGÍA II

ESPECIAL RIEGO Y ENERGÍA II



Unión Europea

Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural

Europa invierte en las zonas rurales



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



PNDR

Programa Nacional
de Desarrollo Rural
2014-2020

EFFIREM

Reducción del coste energético del riego en remolacha
mediante eficiencia energética y reducción del
consumo de agua

Actuación cofinanciada por la Unión Europea



Unión Europea

Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural

Europa invierte en las zonas rurales

INVERSIÓN:

Coste total 585.366,20 €

Ayuda 540.166,20 €

Cofinanciación UE 80 %

EQUIPO TÉCNICO AIMCRA NORTE / SUR



**Jose Manuel
Omaña**



Manuel Gutiérrez



Sergio Muñoz



Santiago Blanco



Jorge González



David Valencia



**Estíbaliz López
de Heredia**



Rubén Celada



Rosa Aguilera



Manuel Aguilera



Nieves Méndez



Ángel Villegas

EDITA

**ASOCIACIÓN DE INVESTIGACIÓN PARA LA MEJORA
DEL CULTIVO DE LA REMOLACHA AZUCARERA**

Apartado de Correos, 855

47080 Valladolid

Tel.: 983 20 47 77

E-mail: revista@aimcra.es

www.aimcra.es

DIRECTORA

Elba Rosique Macario

DELEGACIÓN SEVILLA

Tel.: 95 435 20 55

E-mail: aimcra.se@aimcra.com

DISEÑO Y MAQUETACIÓN

RQR Comunicación

www.rqrcom.com

Tel.: 983 30 79 44

IMPRESIÓN

Imprenta Maas

Tel. 983 40 16 59

D. L.: VA-48/2019

AIMCRA no se hace responsable ni se identifica necesariamente con las opiniones que sus colaboradores expresan a través de los artículos publicados en la revista.

Estimado amigo

AIMCRA continúa trabajando en aquellas tecnologías que nos permiten avanzar en la sostenibilidad del cultivo, en este caso mediante la reducción de los costes de riego y la optimización del consumo de agua.

Fruto de los trabajos realizados en los demostradores del Grupo Operativo EFFIREM, editamos ahora una nueva publicación Especial Riego y Energía II, continuación de la anterior Especial Riego y Energía I, en la que se recopilaban numerosos artículos publicados a lo largo de los últimos años en la revista de AIMCRA.

En esta ocasión, ampliamos aquellos aspectos que en la anterior publicación no se habían abordado con suficiente detalle, y que por su importancia y actualidad consideramos fundamentales para tener una visión más completa del riego.

Consideramos que el problema de los costes energéticos está en vías de solución, gracias a la rápida implantación de mejoras de eficiencia energética y energía solar en las instalaciones de riego de nuestros agricultores. Sin embargo, todavía falta mucho para lograr ser eficientes en el uso del agua.

Es necesaria más formación, dirigida a todos los profesionales que intervienen en la toma de decisiones de riego, tanto agricultores como técnicos y responsables de empresas e instituciones. De lo contrario, los logros conseguidos mediante la eficiencia energética y el riego solar, podrían agravar el problema de sobreexplotación de los acuíferos y poner en riesgo la sostenibilidad de algunos regadíos en un futuro inmediato.

En esta publicación ofrecemos las claves para realizar un uso eficiente del agua, gracias a la utilización de técnicas de programación de los riegos, basadas en el cálculo de las necesidades de los cultivos, la monitorización de los consumos de agua y el telecontrol de la instalación de riego.

La creación de Comunidades de Usuarios de Aguas Subterráneas son una oportunidad para avanzar en una nueva cultura del agua. Por eso queremos animar a sus responsables y a todos los agricultores a pensar de positivo, pues estamos seguros de que podemos hacer un uso mucho más eficiente del agua y al mismo tiempo mejorar el rendimiento y rentabilidad de los cultivos y también la calidad de vida de los agricultores. Para ello, es necesario conocer las soluciones y comenzar a aplicarlas. El contador de agua, las sondas de humedad, los programadores de riego o las imágenes de teledetección deben convertirse en nuestras herramientas de trabajo habituales.

Y como el movimiento se demuestra andando, AIMCRA dispone desde hace tiempo de un servicio de consultoría y asesoramiento personalizado dirigido a que todos los agricultores dispongan de la información necesaria para ayudarles a disminuir los costes energéticos y ahorrar agua. Quedamos a su disposición, poniéndonos a su servicio.

Elba Rosique

Directora

e.rosique@aimcra.es



Sumario ESPECIAL RIEGO Y ENERGÍA



**OBJETIVO:
GARANTIZAR LA
COMPETITIVIDAD 7**



**CONTRATACIÓN
Y FACTURACIÓN
ELÉCTRICA 11**



**EFICIENCIA
ENERGÉTICA 29**



**PROTOCOLO
DE AUDITORÍA
ENERGÉTICA
E HÍDRICA EN
EXPLOTACIONES
DE REGADÍO 47**



**RIEGO
DIGITALIZADO
SENSORES DE
HUMEDAD DE
SUELO 63**



**EFICIENCIA DEL
RIEGO MEDIANTE
EL SERVICIO
IRRIMAPS® 68**



**EMISORES DE
BAJA PRESIÓN 72**



**AUTOMATIZACIÓN
DE RIEGO 77**



**GENERADORES
DIESEL AGRÍCOLAS
RENDIMIENTO Y DI-
MENSIONAMIENTO 87**



**EL RIEGO DE LA
REMOLACHA
AZUCARERA 95**



INTRODUCCIÓN:

Objetivo: garantizar la competitividad



José Manuel
Omaña AIMCRA

En las condiciones españolas, la necesidad de regar supone una diferencia importante respecto a los países centroeuropeos. Gracias al riego el rendimiento de nuestros cultivos es mayor, pero también nuestros costes de producción son más elevados.

El coste del riego, y principalmente el coste energético del riego, se ha convertido en un aspecto clave para la supervivencia y la competitividad del cultivo de la remolacha azucarera y de otros cultivos extensivos de regadío.

Antes de las recientes subidas en los precios de la electricidad y del gasóleo, el coste energético del riego suponía una pe-

sada losa sobre la rentabilidad, especialmente para aquellas explotaciones con perforaciones profundas.

En estos momentos, en que los precios de la energía se han multiplicado, el alto coste energético del riego podría hacer que el cultivo de la remolacha fuera inviable en muchas explotaciones, si no fuera por la subida que se ha producido en el precio que percibe el agricultor por su remolacha. La situación de altos precios del azúcar y otros cultivos permite en estos momentos pagar más al agricultor, pero es necesario aprovechar para cambiar nuestro ya obsoleto modelo energético del regadío, y esto lo deberíamos hacer con rapidez.

Nos planteamos disminuir en lo posible la cuantía de la factura energética del riego de nuestros agricultores

Es preciso distinguir entre los regadíos de comunidades de regantes y los riegos particulares, en los primeros buena parte de la superficie de regadío se ha modernizado en los últimos años, por lo que en la mayoría de los casos el coste del riego es “más o menos razonable”. Sin embargo, existen miles de regadíos particulares a los que no ha llegado la modernización, es el caso de los riegos de sondeo, donde en la campaña 2022 se han tenido que soportar costes de hasta 3.000 €/ha para regar cultivos de verano como la remolacha, cifra que supone más del 60% de los costes totales del cultivo.

AIMCRA durante los últimos años ha sido pionera en España en impulsar soluciones al alto coste energético del riego, soluciones que ya son una realidad en algunas explotaciones remolacheras, siendo numerosos los casos de éxito en los que se ha conseguido disminuir mucho el coste del riego.

Disponemos de soluciones para reducir drásticamente los costes del riego, hasta el punto de que la necesidad de regar pasa de ser una amenaza, a ser una oportunidad para conseguir ventajas competitivas frente a otros productores europeos y mundiales.

Las soluciones son de tres tipos y complementarias:

1. La mejora de la contratación con las compañías eléctricas.
2. La implantación de medidas de eficiencia energética para disminuir el consumo.
3. La sustitución de las fuentes de energía convencional (diésel y electricidad de red), por energía fotovoltaica producida en la propia explotación.

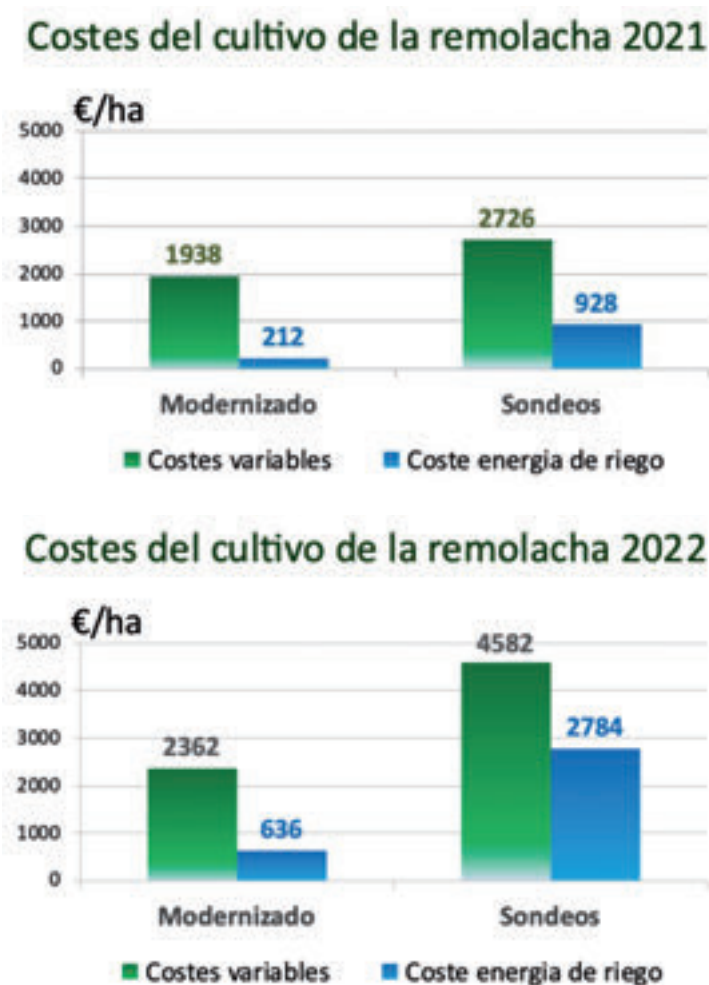
En los tres casos se consiguen grandes ahorros. En el caso de las mejoras de la contratación es posible conseguir ahorros de entre un 10% y un 20% si se aplican los criterios correctos, y sin apenas realizar inversión. En el segundo caso de la eficiencia, es fácil conseguir ahorros de hasta el 50% con inversiones pequeñas, que se recuperan en tan solo uno o dos años. Y si a mayores se utiliza energía solar fotovoltaica, el ahorro puede alcanzar el 90% o 100%, o incluso obtener ingresos netos, si existe la posibilidad de verter a red eléctrica los excedentes del invierno.

Esto abre nuevas expectativas para el sector remolachero, pues nos puede ayudar no solo a mantener la competitividad en los próximos años, sino incluso a recuperar la superficie y producción perdida tras la reforma de la OCM del azúcar del año 2008, en la que España redujo a la

Es urgente acelerar el cambio del modelo energético



FIG. 1. Costes variables del cultivo y costes de la energía de riego, en el cultivo de remolacha en España, con los precios de la energía de 2021. En 2022 el coste energético se ha triplicado.



mitad su anterior cuota de un millón de toneladas de azúcar.

Son ya muchos los agricultores que han experimentado en sus explotaciones los beneficios de la eficiencia energética y el riego solar, sin embargo, es urgente extenderlo al resto de agricultores en el plazo más breve posible.

Resulta especialmente urgente acometer un Plan de Reducción del Coste Energético del Riego en captaciones y sondeos, para que en el plazo de 3 o 4 años hayamos cambiado el actual y obsoleto modelo energético de nuestros regadíos. Para ello es necesaria la implicación de todos los actores: agricultores, industria, instaladores, administración, empresas y entidades financieras. Y siempre con una idea clara, que además de ahorrar disminuir los costes, debemos poner los medios para hacer un uso más eficiente.

Dada la importancia del ahorro de costes energéticos para el futuro del cultivo de la remolacha en España, AIMCRA sigue prestando a los socios que lo solicitan, un servicio personalizado de asesoramiento en materia de ahorro energético y de agua, siendo numerosas las explotaciones donde ya se han llevado a cabo mejoras. En Castilla y León son ya más de 10.000 ha las que se riegan con eficiencia



El cultivo de la remolacha en España tiene futuro... pero pasa por cambiar el modelo energético en el regadío y mejorar la eficiencia en el uso del agua

energética y/o energía solar, de ellas más de 2.000 ha de remolacha azucarera.

AIMCRA ofrece este servicio de asesoramiento a todos sus socios a través del proyecto EFFIREM. Si está interesado en que le ayudemos a tomar las decisiones correctas adaptadas a su caso no dude en contactar con EFIREM en la web www.efirrem.org o directamente con AIMCRA en el correo j.m.omana@aimcra.es, o el teléfono 606086449.

En enero de 2016 publicamos en la revista AIMCRA nuestro primer artículo relacionado con el ahorro en los costes energéticos del riego, que titulamos así: "¿Trabajan los agricultores para las compañías eléctricas?", el tiempo parece que nos ha dado la razón. En aquel artículo exponíamos que se podía disminuir el coste del riego entre un 30% y un 40% utilizando variadores de frecuencia y boquillas de baja presión (6-10 psi) en los pivotes.

A comienzos de 2015, nos planteamos disminuir todo lo posible la cuantía de la factura energética del riego de nuestros agricultores, especialmente aquellos que tienen riegos más caros, en zonas de sondeos. Con el fin de que el estudio fuera lo más completa posible, desde el primer momento decidimos abordar la disminución del coste energético de for-

ma multidisciplinar, intentando abarcar todos aquellos aspectos que pudieran suponer una disminución de los costes energéticos. Para comprobarlo se realizaron 3 campos demostrativos, en otras tantas explotaciones de riegos de sondeo, de Bercero, Pozaldez y Rueda (Valladolid).

En el gráfico nº 2 se muestra el ahorro conseguido en el campo demostrativo de Bercero, así como las acciones necesarias para conseguir dicho ahorro. En este campo el coste energético bajó de 18.864 €/año a tan solo 7.482 €/año, con un ahorro de 10.622 €/año. En Pozaldez y Rueda los ahorros fueron parecidos.

A partir de entonces AIMCRA no ha cesado de trabajar en este sentido, conscientes de la gran capacidad de mejora y ahorro que se puede alcanzar. Son ya bastantes los agricultores y las empresas que han implantado o que ofrecen este tipo de medidas que propugnamos, pero todavía queda mucho por hacer, mucho campo por roturar en materia de ahorro de costes energéticos del riego y de uso eficiente del agua.

Se ofrecen a continuación una serie de artículos, en los que se recogen todas aquellas actuaciones que nos pueden ayudar a ahorrar energía y también a optimizar el uso del agua.

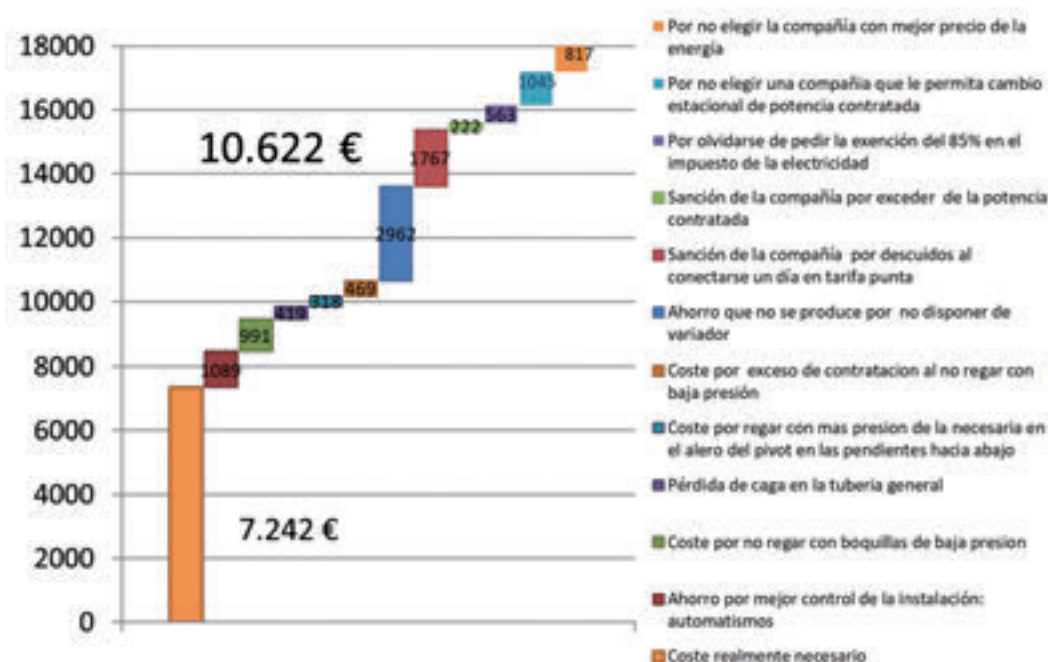


FIG. 2. Ahorros conseguidos en el campo demostrativo de Bercero en 2015 (Valladolid).

TEMA 1:

Contratación y facturación eléctrica

José Manuel Omaña / Rubén Celada Caminero. AIMCRA



EL CONTRATO ELÉCTRICO

Existen dos tipos de empresas eléctricas, las distribuidoras y las comercializadoras.

La empresa distribuidora siempre es única para cada punto de suministro, según las zonas de España, las distribuidoras son: Unión Fenosa Distribución – Naturgy-, I-DE Distribución – Iberdrola -, E-Distribución -Endesa-, Viesgo Distribución, E.-REDES -EDP-, y Eléctrica de Cádiz.

La empresa comercializadora es aquella con la que se establece el contrato de compra de energía. Existen más de 200 empresas comercializadoras en España. A diferencia de la distribuidora, podemos realizar el contrato con la que nos ofrezca un precio más interesante.

FIG. 1. Distribuidoras Eléctricas y de Gas en España | Mapa por zonas (tarifasgasluz.com)



Es importante saber que la identificación del punto de suministro corresponde a un código denominado CUPS, que figura en el contrato y en el encabezado de las facturas.

FIG. 2. Código CUPS que identifica el suministro.



DATOS RELACIONADOS CON SU SUMINISTRO

Número de contrato: 818279242

Empresa distribuidora: I-DE, Redes Eléctricas Inteligentes, S.A.U.

Número de contrato de acceso: 0033145301

1 Identificación punto de suministro (CUPS): ES 0021 0000 0927 8331 X

Forma de pago: DOMICILIACIÓN BANCARIA

Entidad: CAIXABANK

IBAN: ES09 2100 2260 0102 0023 ****

BIC: CAIXESBBXXX

Código de mandato: 248421953000

**** Ocultos para su seguridad

Tipo discriminación horaria: TGPAT

2 Potencia contratada: PC1: 42 kW PC2: 46 kW PC3: 46 kW
PC4: 46 kW PC5: 46 kW PC6: 51 kW

3 Peaje de acceso a la red (ATR): 3.0TD

Precios de peajes de acceso: B.O.E. del 22/12/2022

4 Duración de contrato hasta: 23/09/2023

Dirección fiscal: C/ JUAN DE HERRERA, 39, Bajo 1 47130 SIMANCAS

1. Número de identificación del suministro con el que se pueden hacer consultas web y solicitar la exención del 85% del impuesto.

2. Potencia contratada en los distintos periodos P1, P2, P3, P4, P5, P6

3. Peaje de acceso: o tipo de tarifa, en este caso 3.0 TD, o baja tensión, el transformador es de la compañía. Los agricultores utilizan sobre todo la tarifa 6.1 TD, o alta tensión, cuando el transformador es propiedad del agricultor.

4. Fecha de finalización del contrato actual, se debe renegociar con su compañía y buscar otras alternativas con al menos un mes de antelación.

El importe del coste del suministro de energía eléctrica que aparece en la factura se desglosa en:

1. Término de potencia.
2. Término de energía.
3. Otros costes: impuesto electricidad, alquiler del contador.

TERMINO DE POTENCIA

El término de potencia es un peaje que se debe pagar para tener acceso al consumo de energía mediante la contratación de una potencia determinada. En la factura puede venir expresado en €/kW por año, por mes o por día, y es diferente para cada uno de los periodos contratados. Su cuantía no depende del consumo de energía, que es una cantidad fija, sino de los kW contratados. El precio no difiere entre compañías, se trata de un precio fijo establecido en el BOE.

Tarifas de acceso

Existen varias tarifas de acceso para la potencia, normalmente los regantes se acogen a la tarifa 6.1 TD (antes 3.1A) y la tarifa 3.0 TD, en ambos casos se trata de tarifas de 6 periodos con precios diferentes en cada periodo, de forma que el coste final viene determinado por los kW contratados en cada periodo.

- Tarifa de acceso 6.1 TD, es la más común, también se denomina de alta tensión debido a la que compañía nos sirve la energía a una tensión superior, por ejemplo 13.000 V, y el usuario utiliza su propio transformador. En este caso la compañía calcula y cobra un porcentaje fijo por pérdidas en el transformador, incluso en meses en los que no se produce consumo, no pudiendo evitarse este cargo aunque se desconecte la instalación.

- Tarifa de acceso 3.0 TD, se denomina de baja tensión, pues es la propia compañía la que transforma la tensión y nos la sirve "en baja". En este caso las pérdidas del transformador ya vienen incluidas en la factura como energía consumida, la compañía mide las pérdidas reales que se producen y las factura y por tanto tampoco sirve desconectar la instalación.

Precio de la potencia contratada

Es preciso tener clara la distinción entre potencia contratada, potencia consumida y potencia facturada.

Hasta junio de 2021 el día se dividía en tres periodos tarifarios, P3 o valle, P2 o llano y P1 o punta, y a lo largo del año había dos épocas con diferentes tarifas, la de invierno y la de verano. A partir del cambio regulatorio de 2021 esto ha cam-

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	FINES DE SEMANA
00:00 - 01:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6 - INCLUYE SÁBADOS, DOMINGOS Y FESTIVOS NACIONALES FESTIVOS 2023: 6 de enero, 1 de mayo, 15 de agosto, 12 de octubre, 1 de noviembre, 6 de diciembre, 8 de diciembre y 25 de diciembre
01:00 - 02:00													
02:00 - 03:00													
03:00 - 04:00													
04:00 - 05:00													
05:00 - 06:00													
06:00 - 07:00													
07:00 - 08:00													
08:00 - 09:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	
09:00 - 10:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	
10:00 - 11:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	
11:00 - 12:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	
12:00 - 13:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	
13:00 - 14:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	
14:00 - 15:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	
15:00 - 16:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	
16:00 - 17:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	
17:00 - 18:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	
18:00 - 19:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	
19:00 - 20:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	
20:00 - 21:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	
21:00 - 22:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	
22:00 - 23:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	
23:00 - 24:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	

TABLA 3. Horarios
tarifarios, para tarifas de 6
periodos 3.0 TD y 6.1TD

biado, el día queda dividido en 6 periodos: P6, P5, P4, P3, P2 y P1, y en vez de dos tarifas anuales, estas cambian cada mes.

En la tabla n° 3 se muestran las horas del día que abarca cada periodo en cada uno de los meses, que como se puede ver cambia casi todos los meses.

Cada semana se dispone de 84 horas en P6, correspondiendo 8 horas a los días laborables y 24 horas a sábados, domingos y festivos. En caso de ser necesario regar más de 88 horas en el mes de julio, sería necesario contratar P2 o incluso P1, lo que a su vez obliga a contratar P5, P4 y P3; en cambio en junio, agosto y septiembre los periodos disponibles son P4

y P3, que a su vez obliga a contratar P5. En abril y mayo los periodos disponibles son P6, P5 y P4.

Siempre es obligatorio contratar el periodo P6 y sucesivamente el resto de los periodos por orden. Por ejemplo, para contratar P3 es necesario contratar también P4, P5 y P6. Es decir, se mantiene la norma de contratar “potencias crecientes”, la potencia contratada ha de cumplir que: $P1 \leq P2 \leq P3 \leq P4 \leq P5 \leq P6$.

Si durante el periodo P6 no se dispone del suficiente tiempo para regar, 88 horas semanales, deberán contratarse más periodos, teniendo en cuenta que los periodos disponibles en cada mes son diferentes.

ANTES DE JUNIO DE 2021

PERIODO	€/KW	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P1	5,34	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
P2	3,30	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
P3	0,76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76

TABLA 4. Termino de Potencia (€/kW y mes) ALTA TENSION Tarifa 3.1 A

DESPUÉS DE JUNIO DE 2021

PERIODO	€/KW	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P1	2,03	45	45					45					45
P2	1,77	35	35	45				35				45	35
P3	1,02			35			45		45	45		35	
P4	0,81				45	45	35		35	35	45		
P5	0,23				35	35					35		
P6	0,13	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88

TABLA 5. Tabla 5. Termino de Potencia (€/kW y mes) ALTA TENSION Tarifa 6.1 TD

En las tablas nº 4 y 5 se muestran los periodos de potencia disponibles en la Tarifa 3.1 y en la Tarifa 6.1 TD, es decir, antes y después del cambio normativo de Junio de 2021, en la segunda columna figura el precio mensual por kW contratado en cada periodo, en las siguientes columnas se muestran las horas semanales disponibles en cada periodo.

En la situación actual, con la Tarifa 6.1 TD, las horas disponibles en P6 (Valle) son 88 horas, frente a la situación anterior, con la Tarifa 3.1 A, en P3 (Valle) disponíamos solo de 76 horas en valle. Además, el precio por contratar potencia en P6 es ahora notablemente inferior a la situación anterior, 0,13 €/kW-mes frente a 0,76 €/kW-mes.

Como se puede observar, el principal inconveniente para los regantes se produce en el mes de Julio, pues si en ese mes se necesitan más de 88 hora de riego semanales se debe contratar también el periodo P2, y si se necesitan más de 123 horas de riego, se debe contratar además el P1, y a mayores todas las potencias que se encuentran por debajo, es decir P5, P4 y P3, como ya hemos visto en la página anterior.

Ahorro en el término de potencia

Las acciones de ahorro a llevar a cabo respecto al término de potencia son las siguientes:

- 1.Modificación de potencia contratada.
- 2.Optimización de la potencia contratada.
- 3.Evitar sanciones por consumir en periodos no contratados.

1. Modificación de la potencia contratada

Como novedad, y hasta diciembre de 2023 se ha aprobado la posibilidad de modificar todos los meses las potencias contratadas, siendo posible bajar las potencias al mínimo durante los meses en los que no se va a regar, con la salvedad de que la potencia contratada en P6 no puede bajarse.

En las tablas 6 y 7 se muestra la diferencia en el coste mensual de las potencias contratadas para una instalación que consume 100 kW en todos los periodos y se compara con contratar 100 kW sólo en P6 y 1 kW en el resto de periodos. La di-

TABLA 6. Coste de la potencia con contrato de 100 kW en todos los periodos.

	P6	P5	P4	P3	P2	P1	Total €, al mes
Precio/kW	0,13	0,23	0,81	1,02	1,77	2,03	
kW contrato	100	100	100	100	100	100	
Coste €	13 €	23 €	81 €	102 €	177 €	203 €	599 €

TABLA 7. Coste de la potencia con contrato de 100 kW en P6 y de 1 KW en el resto de los periodos.

	P6	P5	P4	P3	P2	P1	Total €, al mes
Precio/kW	0,13	0,23	0,81	1,02	1,77	2,03	
kW contrato	100	1	1	1	1	1	
Coste €	13 €	0 €	1 €	1 €	2 €	2€	19 €



ferencia en el coste mensual varía entre 589 € y 19 €, es decir de 580 €/mes. Luego solo debemos contratar los periodos que necesitemos en cada mes, en función de la intensidad del riego.

Durante 2023 las modificaciones en la potencia contratada se pueden solicitar incluso mensualmente, de forma que la contratación de cada mes se ajuste a lo estrictamente necesario para cada agricultor. Las compañías comercializadoras han de hacer efectivo el cambio en el contrato en un plazo de **cinco días** desde la realización de la solicitud de modificación, por lo que se recomienda realizar las solicitudes, al menos, cinco días antes de acabar cada mes (siendo preferible mayor antelación para evitar problemas). Cabe mencionar que para dar de alta nuevas potencias en el siguiente mes no existen restricciones. En cambio, para dar de baja potencias contratadas es requisito indispensable dar de baja alguna de las potencias disponibles

del mes para el que se pide el cambio. Por ejemplo, si se han dado de alta las tarifas P1 y P2 en julio, se seguirán pagando salvo que en agosto o septiembre se solicite la baja de al menos la P3.

Por el momento, la medida se implanta hasta el 31 de diciembre de 2023. A partir del 31 de diciembre de 2023, se establece un periodo de 3 meses (hasta el 31 de marzo de 2024) para reestablecer la contratación habitual para la siguiente campaña de riego. Dada la novedad de la medida, la complejidad del sistema y la proximidad de la campaña de riego se recomienda a aquellos regantes interesados que soliciten asesoramiento y que contacten con sus comercializadoras eléctricas para informarse del el procedimiento.

A continuación, se incluye un ejemplo de aplicación del nuevo sistema de contratación de potencia en un caso real:

Antes, al no poder realizar más de un cambio de potencia al año, era necesario contratar todas las potencias excepto P1 durante todo el año, es decir, P6, P5, P4, P3 y P2 con 94 kW y P1 con 1 kW.

AÑO 2022

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1
P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3
P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6

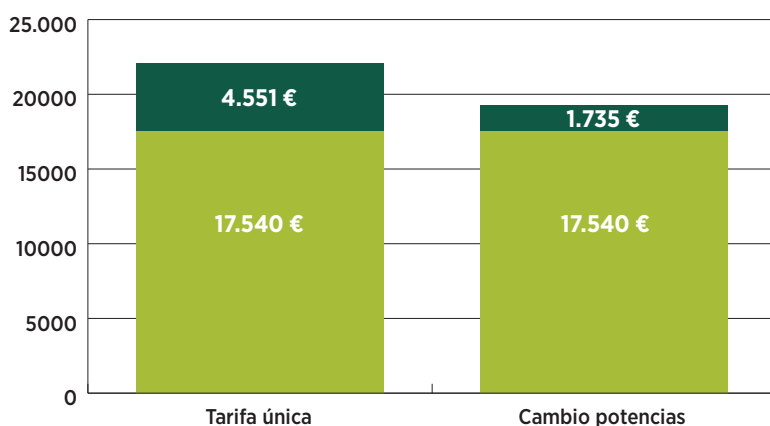
En el siguiente gráfico se representa la contratación que se necesitaba realizar en un riego de sondeo de 94 kW para poder regar un máximo de 18 horas diarias durante el mes de julio.

AÑO 2023

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1
P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3
P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6

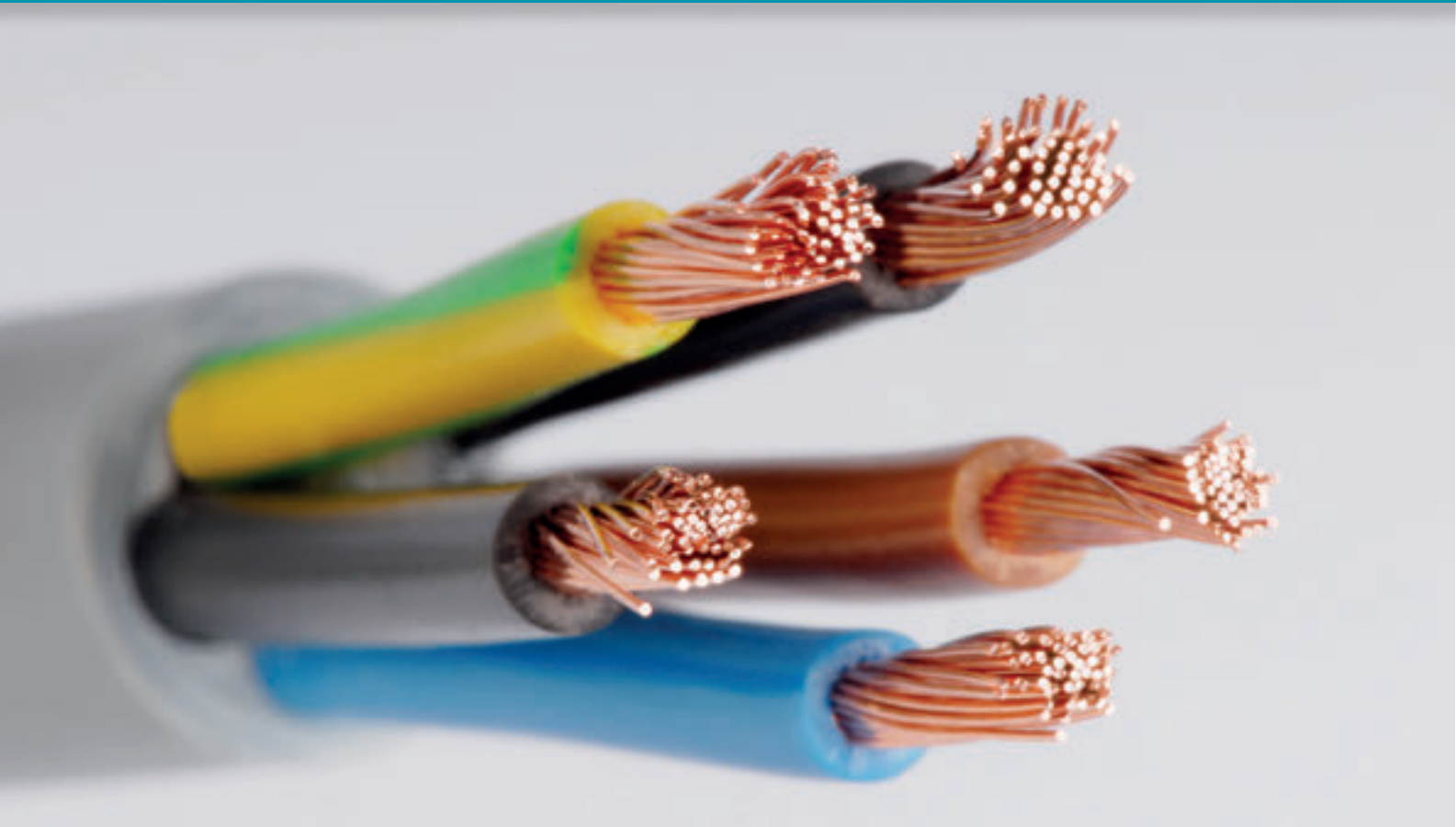
A partir de ahora, sería suficiente contratar potencias diferentes a la P6 solo solo durante los cinco meses más críticos de la campaña (abril, mayo, junio, julio y agosto), pues se calcula que son los meses en que el riego semanal puede exceder las 88 horas disponibles en P6. Para el resto del año, se podrían reducir al mínimo todas las potencias, excepto P6, que es obligatorio mantenerla durante el año completo, siendo su coste muy reducido.

Como ya se ha explicado antes, y dado que necesitamos regar en P3 y P4 en agosto, no podremos bajar la P1 y P2 hasta el mes de septiembre. En cambio, en septiembre será suficiente con las horas de P6, por lo que no hay problema en bajar en septiembre la P4, P3 y también P2 y P1 que viene arrastra desde Julio.



Antes, la facturación de la potencia de este ejemplo de 94 Kw de P2 a P6, sin hacer más cambios de potencia ascendía a 4.551 € y haciendo varios cambios de potencia como los que se indican, se reduce un 62%, pasando a ser de 1.735 €. Si tenemos en cuenta que el coste variable por consumo de energía en este ejemplo ascendía a 17.450 € anuales, supone un ahorro sobre el total de la factura del 13%.

Coste de la potencia
Coste de la energía



2. Ajuste de la potencia contratada u optimización de potencia

Es frecuente que en las instalaciones de riego se produzcan sanciones debidas a que la potencia contratada es inferior a la realmente demandada por el sondeo.

A la hora de contratar la potencia hay que tener en cuenta el consumo real de la instalación, incluidas las pérdidas en el transformador, de lo contrario la potencia consumida será superior a la contratada y esto generará sanciones de la compañía, haciendo que la potencia facturada sea superior tanto a la contratada como a la consumida.

Mediante este mecanismo sancionador, las distribuidoras eléctricas pretenden obligar a los consumidores a llevar a cabo un ajuste de la contratación mucho más aproximado a las potencias realmente demandadas.

Las fórmulas aplicables en el cálculo de las sanciones difieren en función de la potencia contratada.

La sanción es diferente según la potencia contratada sea mayor o menor de 50 kW.

Para suministros 6.1TD y 3.0TD con potencia contratada ≤ 50 kW

- La forma de calcular la sanción no ha cambiado respecto a años anteriores, por lo que un solo cuarto de hora conlleva la máxima sanción, y puede llegar a alcanzar hasta tres veces lo que se hubiera pagado por utilizar esa misma potencia durante todo el mes. En cambio, la sanción no incrementa aunque el exceso se siga produciendo durante todo el mes, es decir la sanción es la misma por pasarse un solo cuarto de hora o todos los cuartos de hora del mes.

Para suministros 6.1TD y 3.0TD con potencia contratada > 50 kW

- Aquí si ha habido cambios, pues la sanción es proporcional al número de cuartos de hora con exceso a lo largo del mes facturado. Sin embargo hay que tener en cuenta que si el exceso se produce durante 8 cuartos de hora, la cuantía de la sanción es similar a la descrita para los contratos de menos de 50 kW. En este caso la sanción se sigue incrementando cada cuarto de hora que se produce el exceso, por lo que si nos siguiéramos pasando

durante todo el mes, la cuantía de la sanción podría alcanzar dimensiones astronómicas.

Para saber si ha habido exceso de potencia debemos fijarnos en la potencia consumida, que es la que figura en la lectura del maxímetro que aparece en la factura, y que nos muestra los excesos de consumo que hayan tenido lugar en cualquier cuarto de hora del periodo de facturación. Si la potencia consumida es mayor que la potencia contratada, se producirá una sanción que se traducirá en una mayor potencia facturada.

También aquí ha habido cambios. Antes de junio de 2021 se permitía un cierto exceso de potencia, hasta el 105 % de la potencia contratada. Eliminada esa flexibilidad, la facturación de la potencia

se corresponde siempre con el 100% de la potencia contratada, y los excesos de potencia se facturan atendiendo al número de cuartos de hora en los que la potencia demandada excede a la potencia contratada durante el mes de facturación.

Es muy frecuente entre los regantes contratar la potencia que tiene la bomba, sin tener en cuenta que la potencia consumida por la instalación es mayor, debido a las pérdidas en el transformador, cable, variador y otras. Esto antes no solía conllevar sanciones, pues se podía incurrir en un exceso del 5% respecto a la potencia contratada sin acarrear sanción, pero ahora no es así, cualquier exceso en la potencia consumida respecto a la contratada, conlleva sanción.

A continuación, se incluye un ejemplo de aplicación del nuevo mecanismo de sanciones para un contrato inferior a 50 kW:

Veamos cual sería la potencia facturada para un contrato de 50 kW en P6, P5, P4 y P3 y 1 kW en P2 y P1 en dos situaciones:

1. Si la potencia consumida se ajusta a la potencia contratada en todos los periodos:

	P6	P5	P4	P3	P2	P1	Total €, al mes
Precio/kW	0,13	0,23	0,81	1,02	1,77	2,03	
kW contrato	50	50	50	50	1	1	
Coste €	7 €	12 €	41 €	51 €	2 €	2 €	113 €

2. Si se produce un consumo de 60 kW, ósea 10 kW de exceso, en los periodos P6, P5, P4 y P3.

	P6	P5	P4	P3	P2	P1	Total €, al mes
Precio/kW	0,13	0,23	0,81	1,02	1,77	2,03	
kW contrato	60	60	60	60	1	1	
Coste €	10 €	19 €	65 €	81 €	2 €	2€	179 €

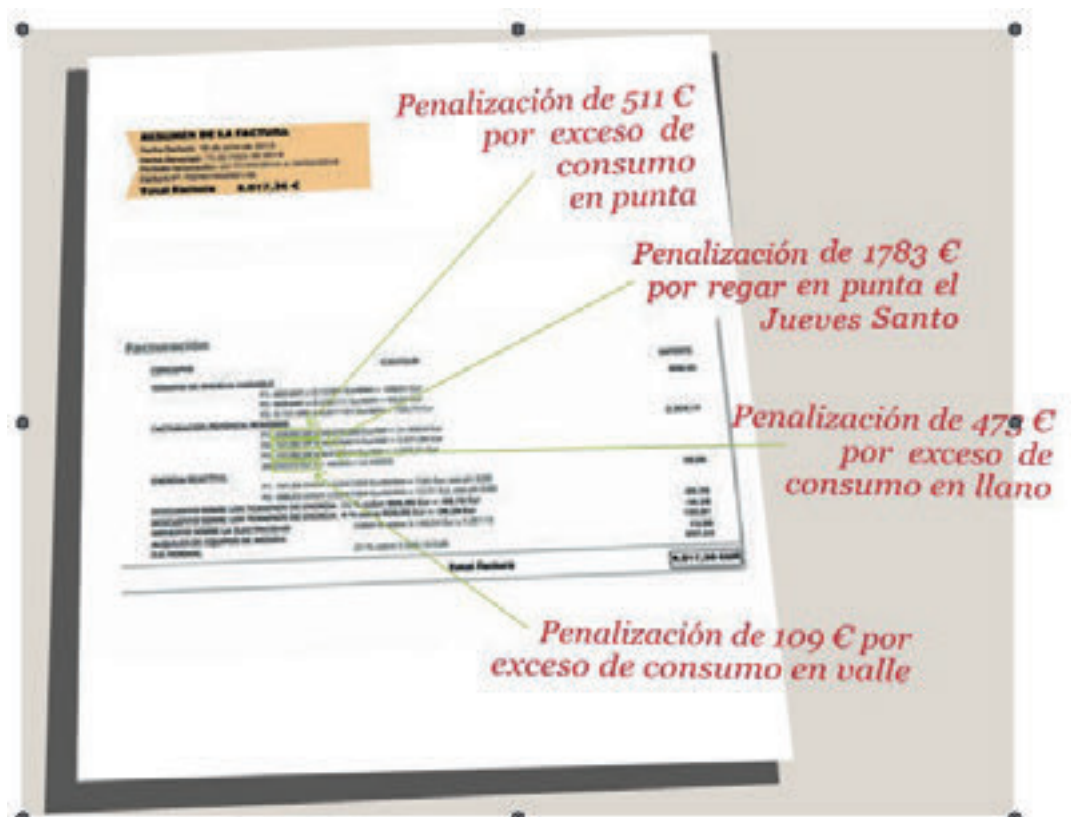
Como se puede ver, la sanción es la diferencia entre ambos casos, es decir 66 €.

Se recomienda por tanto revisar la potencia contratada, y contrastar esa potencia con la potencia demandada marcada por los maxímetros, especialmente si presentan de manera recurrente conceptos de exceso de potencia en sus facturas de otras campañas.

3. Evitar penalizaciones por regar en periodos no contratados

Un caso particular de sobrepasamiento es aquel que se produce por regar en periodos en los que no se desea regar.

Se debe prestar especial cuidado en no consumir en periodos no contratados, pues un descuido de unos minutos en la programación diaria o una equivocación por regar en un festivo que no sea tal, acarrea la imposición de una cuantiosa sanción.



Como se ha dicho en el apartado número 2, la compañía sanciona cuando la potencia consumida excede a la potencia contratada. Pero esto es especialmente grave cuando los excesos se producen por consumir en un periodo no contratado o con una contratación mínima, debido a la mayor diferencia entre la potencia contratada y la consumida.

En este sentido, es habitual que se produzcan sanciones por regar en días festivos que sin embargo no se consideran festivos. A efectos de la tarifa eléctrica, sólo se consideran los festivos nacionales siguientes: 1 de Enero, 15 de Agosto, 12 de Octubre, 1 de Noviembre, 6 de Diciembre y 8 de Diciembre. No se consideran festivos los días de Jueves y Viernes Santo ni ninguno otro.

A continuación, se incluye un ejemplo para un contrato superior a 50 kW.

Tenemos contratados 94 kW en P6, P5, P4, P, y P2 y solo 1 kW en P1 para equipos auxiliares y para el desplazamiento de los pivots. Por un descuido en el mes de julio, el riego de la noche no se paró hasta las 09:45, metiéndose durante tres cuartos de hora, el 09:00 a 09:45, en el periodo P1.

Con el mecanismo sancionador antiguo, la sanción hubiera ascendido a 947 €, aunque se habría podido seguir regando en P1 durante todo el mes sin que se incrementara la sanción. Con el mecanismo sancionador actual, la sanción correspondiente a tres cuartos de hora sería de 590 €, pero por cada nuevo cuarto de hora de exceso la sanción seguirá incrementándose. Si por desconocer esto, si continuara regando dos horas diarias en P1 durante los 21 días laborales del mes, equivalente a 168 cuartos de hora, la sanción ascendería a 4318 €.

	P6	P5	P4	P3	P2	P1	Potencia Julio
Precio/kW	0,13	0,23	0,81	1,02	1,77	2,03	
kW	94	94	94	94	94	1	
€	7 €	12 €	41 €	51 €	166 €	2 €	379 €

	P6	P5	P4	P3	P2	P1	Potencia Julio
Precio/kW	0,13	0,23	0,81	1,02	1,77	2,03	
kW	94	94	94	94	94	94	
€	7 €	12 €	41 €	51 €	167 €	4419 €	4697 €



A continuación, vemos otro ejemplo para un contrato menor o igual a 50 kW:

Tenemos contratados 50 kW en P6, P5, P4, P3 y P2 y solo 1 kW en P1 para equipos auxiliares y para el desplazamiento de los pivots. Por un descuido en el mes de julio, el riego de la noche no se paró hasta las 09:45, metiéndose durante tres cuartos de hora, el 09:00 a 09:45, en el periodo P1.

Con el mecanismo vigente, la sanción correspondiente a tres cuartos de hora es de 445, pero y podrá continuar regando todo el mes en P1 y P2 sin incrementar la sanción.

	P6	P5	P4	P3	P2	P1	Potencia Julio
Precio/kW	0,13	0,23	0,81	1,02	1,77	2,03	
kW	50	50	50	50	50	1	
€	7 €	12 €	41 €	51 €	2 €	2 €	113 €

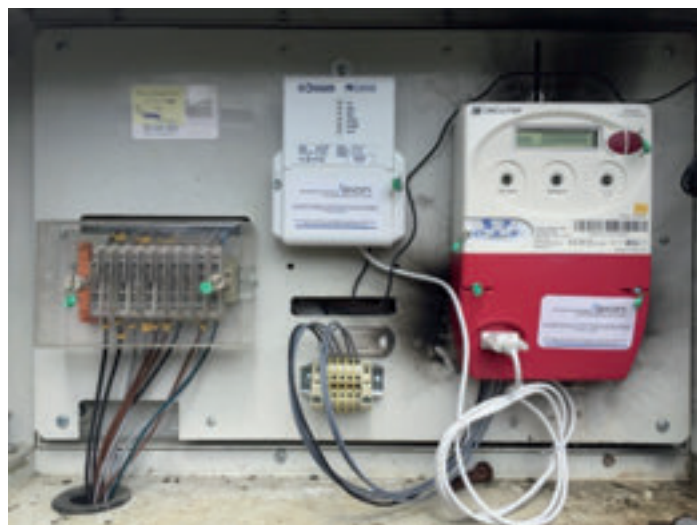
	P6	P5	P4	P3	P2	P1	Potencia Julio
Precio/kW	0,13	0,23	0,81	1,02	1,77	2,03	
kW	50	50	50	50	50	50	
€	7 €	12 €	41 €	51 €	88 €	359 €	558 €

Para evitar este tipo de sanciones, que son habituales y generalmente se producen por descuidos o confusiones, es conveniente analizar la factura eléctrica, de la que se puede obtener mucha información. Aconsejamos ponerse en manos de un gestor energético, si es posible independiente que nos asesore en esta materia.

Otra medida interesante es disponer de un sistema de monitorización que nos permita conocer nuestros consumos en tiempo real, el fin de optimizar las potencias y adaptar los consumos a los periodos tarifarios más económicos.

Es recomendable sustituir el contador de la compañía por un contador propio que incorpore un software de gestión energética accesible desde el ordenador o el teléfono móvil. Además, algunos de estos contadores, son capaces de evitar el sobre pasamiento, ya que mediante un relé colocado entre el contador y la instalación de bombeo cortan el suministro antes de invadir periodos de suministro no contra-

tados. Esto permite evitar las habituales y cuantiosas sanciones impuestas por las compañías debidas a equívocos, descuidos o falta de sincronización entre el programador de riegos y el contador, no olvidemos que el reloj que manda en la factura es el reloj del contador.





TÉRMINO DE ENERGÍA

Es la parte variable de la factura, se refiere a los kW-hora consumidos, facturándose el con sumo de kW-hora al precio contratado para cada periodo.

Tipos de contratos

Existen distintas modalidades, las más habituales son los contratos de precio fijo y de precio indexado, aunque también existen modalidades intermedias.

- **Fijo:** el precio se mantiene durante toda la duración del contrato, lo más habitual suele ser un año, pero a veces se hacen contratos a varios años.
- **Indexado:** el precio es cambiante, cada día y cada hora, en función del mercado eléctrico, con referencia al OMIE o mercado eléctrico de la electricidad, o al OMIP, mercado de futuros a medio plazo.

Es importante comparar precios entre compañías, solicitando ofertas favorables a los hábitos de consumo propios de los regantes. A veces hay grandes diferencias entre compañías. Lo mejor es contar con

un asesor “independiente” que busque y negocie para nosotros las mejores ofertas, y se encargue también de realizar la optimización de potencia, posibles reclamaciones ante la compañía y otros servicios.

Energía facturada y energía activa

Normalmente el mayor consumo de los regantes se produce en periodo P6, cuyo coste del kW-hora es más bajo, y a medida que necesitan más horas de riego se consume en los siguientes periodos hasta llegar al P1.

Realmente el precio de la energía que pagamos en la factura es la suma de tres conceptos, el precio de la energía propiamente dicho, más un precio de peaje y un precio por cargos del sistema. Algunas comercializadoras desglosan estos tres componentes del precio y otras no. En los siguientes ejemplos se muestran ambos casos.

Energía reactiva

La Energía reactiva se produce por el funcionamiento de determinados aparatos eléctricos que utilizan bobinas que trans-

CASO 1. Compañía que desglosa el precio del término de energía.

Facturación de electricidad						
Término energía variable				Importe Total		
	Precio Base	Precios Cargos	Precio Coste Energía	Precio Total	Consumo	Total
P1:	0,017364 €/kWh *	0,014132 €/kWh *	0,207542 €/kWh *	0,239038 €/kWh *	0,00 kWh *	0,00 €
P2:	0,054247 €/kWh *	0,010468 €/kWh *	0,210682 €/kWh *	0,235397 €/kWh *	0,00 kWh *	0,00 €
P3:	0,008134 €/kWh *	0,005693 €/kWh *	0,207538 €/kWh *	0,221315 €/kWh *	9.725,68 kWh *	2.152,44 €
P4:	0,005428 €/kWh *	0,002826 €/kWh *	0,205741 €/kWh *	0,213995 €/kWh *	7.056,32 kWh *	1.510,02 €
P5:	0,000315 €/kWh *	0,001812 €/kWh *	0,195551 €/kWh *	0,197678 €/kWh *	0,00 kWh *	0,00 €
P6:	0,000315 €/kWh *	0,001131 €/kWh *	0,191547 €/kWh *	0,192993 €/kWh *	16.643,20 kWh *	3.212,02 €
Término de potencia						
Energía facturada						
P1 1.159 kWh x 0,320035 €/kWh						370,92 €
P2 8.320 kWh x 0,310685 €/kWh						2.584,90 €
P6 34.008 kWh x 0,264572 €/kWh						8.997,56 €

CASO 2. Compañía que no desglosa el precio del término de energía.

Energía facturada	P4 3.593 kWh x 0,127139 €/kWh	456,81 €
	P5 2.344 kWh x 0,118931 €/kWh	278,77 €
	P6 7.327 kWh x 0,116666 €/kWh	854,81 €
Total 13.264 kWh hasta 31/10/2022		1.590,39 €
Energía reactiva	P4 37,31 kVArh x 0,041554 €/kVArh	1,55 €
	P5 123,48 kVArh x 0,041554 €/kVArh	5,13 €
Total energía reactiva hasta 31/10/2022		6,68 €

52,9%	
Energía	52,9%
Pagos de Transporte y Distribución	5,7%
Impuestos	17,4%
Alquiler contador	0,9%
Cargos	3,2%
Renovables, cogeneración y residuos	1,5%
Anualidades del déficit	1,2%
Subcoste generación no peninsular	0,5%
Otros	0,0%

forman la energía en campos electromagnéticos (motores, transformadores, etc...). Esta energía no tiene un rendimiento útil, sin embargo, supone un coste para la distribuidora almacenar esa energía.

Normalmente la compañía no nos cobra por la energía reactiva, salvo que nos excedamos de un determinado consumo, en cuyo caso se produce una penalización en la factura por consumo de energía reactiva. Esto ocurre cuando el consumo de reactiva supera el 33% de la energía activa para los mismos periodos.

Existen soluciones técnicas para eliminar dicha penalización tales como instalar baterías de condensadores o colocar un variador de frecuencia.

Subida del precio de la electricidad

A partir de junio de 2021, coincidiendo con la entrada en vigor del nuevo sistema de tarifas eléctricas, comenzó una subida vertiginosa el precio de la electricidad. Eso



En las dos tablas siguientes se muestran precios de la energía ofertados por la misma compañía en un contrato a precio fijo en 2019 y 2022 respectivamente.

Termino de Energía (€/kW-hora) Tarifa ALTA tensión, 3.1 A			
Energía 2029	P3	P2	P1
Precio kW h	0,0667	0,0927	0,1144

Termino de Energía (€/kWhora) Tarifa ALTA tensión, 6.1 TD						
Energía 2022	P6	P5	P4	P3	P2	P1
Precio kW-h	0,2645	0,2789	0,2876	0,2958	0,3106	0,3200
Tope Gas (*)	0,1568	0,1568	0,1568	0,1568	0,1568	0,1568
Total kW-h	0,4213	0,4357	0,4444	0,4526	0,4674	0,4768

(*) Tope de gas correspondiente a Julio de 2022

En la tabla y grafico siguientes se muestra la subida del precio de la electricidad en el mercado mayorista a lo largo de 2021, y la evolución desde 2015 hasta 2022.



Evolución del precio del mercado diario de la electricidad en 2021, OMIE. ▲



Evolución del precio del mercado diario de la electricidad OMIE, fuente Garmon. ►

AÑO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
	OMIE							P. GAS	OMIE+GAS
ENERO	51,60	36,53	71,49	49,98	61,99	41,10	60,17	201,72	
FEBRERO	42,57	27,50	51,74	54,88	54,01	35,87	28,49	200,22	
MARZO	43,11	27,79	43,18	40,18	48,82	27,73	45,44	283,30	
ABRIL	45,34	24,11	43,69	42,67	50,41	17,65	65,02	191,52	
MAYO	45,12	25,77	47,11	54,92	48,39	21,25	67,12	187,13	
JUNIO	54,73	38,90	50,22	58,46	47,19	30,62	83,30	169,63	94,35
JULIO	59,55	40,53	48,63	61,88	51,46	34,64	92,42	142,66	115,45
AGOSTO	55,59	41,16	47,46	64,33	44,96	36,20	105,94	154,89	153,79
SEPTIEMBRE	51,88	43,59	49,15	71,27	42,11	41,96	156,14	141,07	102,88
OCTUBRE	49,90	52,83	56,79	65,09	47,17	36,59	200,06	127,21	35,88
NOVIEMBRE	51,20	56,13	59,19	61,97	42,19	41,94	193,43	115,56	8,68
DICIEMBRE	52,60	60,49	57,94	61,81	33,80	41,97	239,16	96,95	38,34
MEDIA ANUAL	50,27	39,61	52,22	57,29	47,71	33,96	111,39		213,43
MEDIA 1 TRIMESTRE	45,78	30,61	55,47	48,35	54,94	34,90	44,70	228,41	
MEDIA 2 TRIMESTRE	48,40	29,59	47,01	52,02	48,66	23,17	71,81		214,21
MEDIA 3 TRIMESTRE	55,67	41,78	48,41	65,83	46,18	37,60	118,17		270,23
MEDIA 3 TRIMESTRE	51,23	56,48	57,97	62,96	41,05	40,17	210,88		140,87
MEDIA SEMESTRE RIEGO	52,80	40,46	49,89	62,66	46,88	33,54	117,50		237,48
MEDIA 1 SEMESTRE	47,08	30,10	51,24	50,18	51,80	29,04	58,26		221,31
MEDIA 2 SEMESTRE	53,45	49,12	53,19	64,39	43,62	38,88	164,53		205,55

Evolución del precio OME de 2015 a 2022. Fuente: Garmon.

En la situación actual, a fecha de marzo de 2023, sigue habiendo una gran incertidumbre con los precios de la electricidad para este año, hasta el punto de que algunas compañías no ofrecen contratos a precios fijos, sino indexados, con el fin de eliminar el riesgo de eventuales subidas en los mercados mayoristas. No podemos olvidar que en 2021 algunas empresas optaron por rescindir los contratos en vigor a precio fijo, aduciendo circunstancias extraordinarias y amparados por la ley, lo que obligó a muchos clientes a renegociar el precio al alza o cambiar de compañía.

Para ampliar información consulte www.omie.es

Tope del gas

Se trata de un nuevo concepto que aparece en la factura de los contratos renovados con posterioridad al 26 de Abril de 2022. Se trata de una medida del gobierno con el fin de limitar la subida de la electricidad en el contexto de crisis energética actual. Su cuantía varía cada mes, y alcanzó su valor máximo en Julio de 2022, en torno a los 16 c€/kWh, para posteriormente ir bajando. Está previsto que desaparezca progresivamente desde el mes de enero hasta el mes de diciembre de 2023.

Para ampliar información consulte: Tope del gas en la factura eléctrica |OCU

Pérdidas en el transformador

Es posible que en periodos sin consumo, la compañía facture determinado consumo de kWh, la razón está en las pérdidas del transformador.

En el caso de la tarifa 6.1 TD, o medida en alta tensión, la compañía no lee las pérdidas del transformador, sino que las estima y cobra un porcentaje fijo por pérdidas, incluso en los meses en los que no se produce consumo, no pudiendo evitarse este cargo, aunque se desconecte la instalación. Actualmente cobra en función de la potencia del transformador, 0,01 € por kVA; Al mes = 0,01 kW/kVA x 24 horas x 30 días = 7,2 €/mes por kVA, para 100 kW suponen 72 €/mes.

En el caso de la tarifa 3.0 TD, o medida en baja tensión, la compañía mide realmente el consumo por pérdidas en el transformador, y factura en función de dicha medida. En este caso no tiene sentido desconectar la instalación.



Trasformador.

OTROS COSTES

Alquiler del contador

Dentro de los servicios facturados, está el precio de alquiler del contador de la compañía. Existe la opción de poner un contador propio, en cuyo caso este importe se dejaría de pagar.

Impuesto de la electricidad

Este impuesto, fijado por el Gobierno, se aplica a la suma del importe del término fijo y del término de energía. El impuesto Eléctrico se calcula como el 4,864% de la suma del término de energía y el término de potencia, multiplicado por 1,05113, es decir el 5,12% de la suma del coste de la potencia contratada, la energía activa consumida y la energía reactiva, y paradójicamente también el IVA.

La Ley 28/2014, de 27 de noviembre, establece que, desde el 1 de enero de 2015, tienen derecho a una reducción del 85% de la Base Imponible del Impuesto Eléctrico, los clientes que destinen la energía eléctrica a usos tales como los “riegos agrícolas”, lo que en la práctica supone una reducción del coste mensual de la factura eléctrica del 4,35%, quedando en tan solo el 0,77%.

Sin embargo, en muchos casos el agricultor no se beneficia de esta exención, bien porque no se ha solicitado ante hacienda o porque ha dejado de aplicarse al cambiar de compañía o de contrato.

Excepcionalmente, desde 2021 el gobierno ha reducido este impuesto para todos los consumidores, con un importe de tan solo 0,5 €/MW-hora, por lo que no tiene sentido solicitar la exención del impuesto. Sin embargo, será necesario estar pendiente en el momento en que vuelva aplicarse, con objeto de beneficiarse de la exención.



TEMA 2

Eficiencia energética

José Manuel Omaña. AIMCRA

Rosa M. Rodríguez González. Ingeniero Agrónomo, directora de Efi-Riego. Consultoría Agrícola

CONCEPTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL RIEGO

Entendemos por eficiencia energética en el riego, el conjunto de medidas que permiten conseguir una disminución del consumo energético en las instalaciones de riego, independientemente de la fuente de energía utilizada.

De forma práctica la eficiencia energética en el riego se puede abordar desde varios puntos de vista:

- Eficiencia eléctrica
- Eficiencia hidráulica
- Eficiencia hídrica

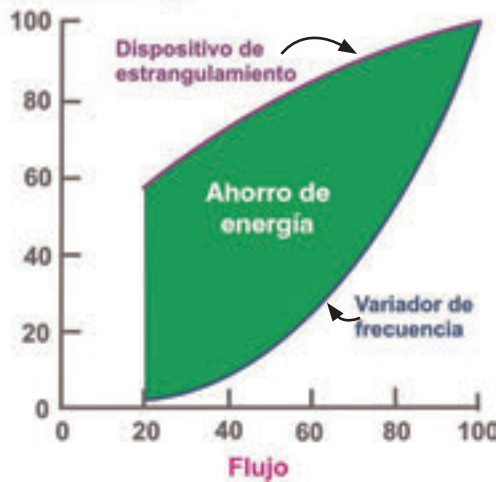
EFICIENCIA ELÉCTRICA

Hay diversos factores que pueden ayudar a mejorar la eficiencia desde el punto de vista del consumo eléctrico del bombeo: principalmente se basan en que la electrobomba tenga un rendimiento óptimo y en la utilización de un variador de velocidad, que permita ajustar la frecuencia del motor a las necesidades de caudal y presión en cada momento.

Variador de velocidad

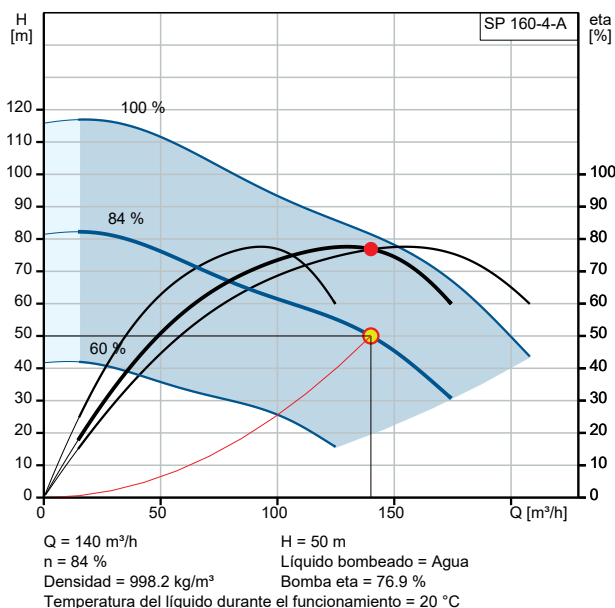
Cuando no se dispone de variador, el motor funciona a la misma frecuencia de la corriente eléctrica que llegar por la red, es decir 50 Hz. La frecuencia se mantiene fija y el consumo sigue siendo parecido aunque disminuyan los requerimientos de caudal o presión. En ese caso, si el caudal o presión son excesivos, se suele recurrir a estrangular la válvula para que pase menos agua y a menor presión, pero esto supone un derroche de energía, que se disipa a su paso por el estrechamiento, de forma parecida a si en un coche se pisa a la vez el acelerador y el freno.

Consumo de energía



Esquema de variación del consumo energético según se disminuya la presión y caudal mediante variador de velocidad o estrangulando la llave de paso.

Variador de velocidad o frecuencia.



Curvas de consumo de una bomba a diferentes frecuencias de trabajo.

En las explotaciones de regadío es muy común que los sectores de riego tengan diferentes requerimientos de presión y caudal al suministrado por la bomba, bien porque la bomba esté sobredimensionada, porque se trate de pivotes o coberturas que funcionan con diferentes presiones o caudales, o por pérdidas de carga en las tuberías generales. En estos casos la posibilidad de disponer de un variador de velocidad permite un importante ahorro, pues hace posible adaptar la frecuencia del motor por debajo de los 50 Hz, esto permite ajustar el consumo en función de las necesidades concretas de cada momento. Hay que tener en cuenta que la ecuación que relaciona la frecuencia del motor y la potencia absorbida es una relación cúbica; por ejemplo: una disminución de un 20% en la frecuencia implica una bajada de 49% en la potencia consumida.

Ejemplo: Cálculo de la disminución de la potencia absorbida por una bomba de P = 80 kW, cuando se pasa de una frecuencia de 50 Hz a 40 Hz:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{(n_1)^3}{(n_2)^3}$$

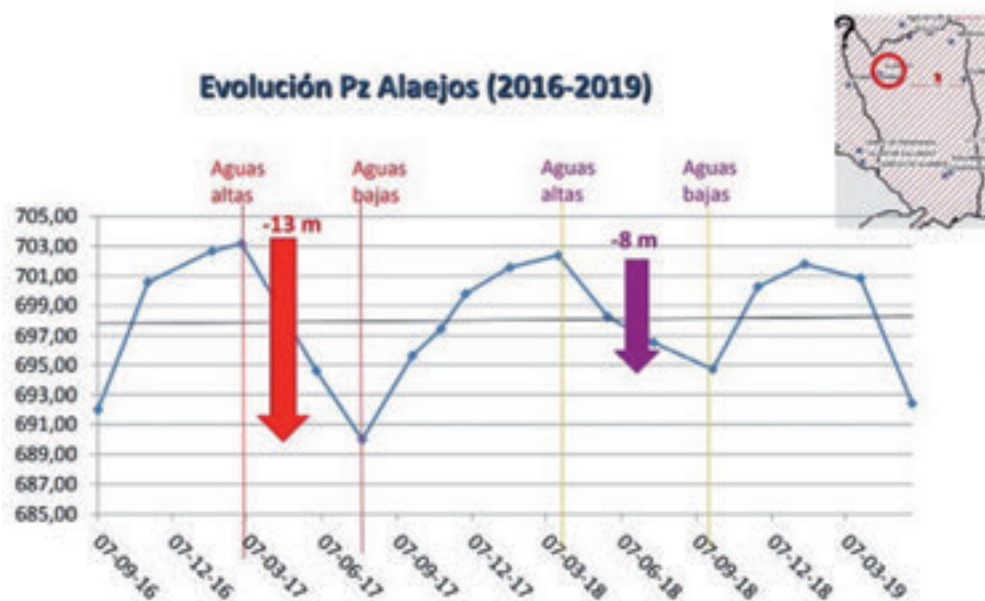
P1 y P2: Potencia absorbida

N1 y n2: Frecuencia del motor

$$80 \text{ kW}/P_2 = (50 \text{ kW})^3/(40 \text{ kW})^3; P_2 = (50)^3/(40)^3 \times 80 = 41 \text{ kW}$$

Se muestra a continuación lo ocurrido en una instalación situada en Bercero (Va). La potencia absorbida registra claramente dos niveles de consumo, uno cercano a 80 kW cuando se riega con la cobertura y otro que varía entre 47 kW y 56 kW, cuando se riega con el pivote. Si no hubiera variador el consumo siempre sería de 80 kW.

Del mismo modo, el uso del variador permite adaptar el consumo de energía al nivel dinámico del agua del sondeo, variable en función de la época del año, de este modo al principio de la temporada de riegos, cuando el nivel del pozo está más alto, el consumo disminuye.

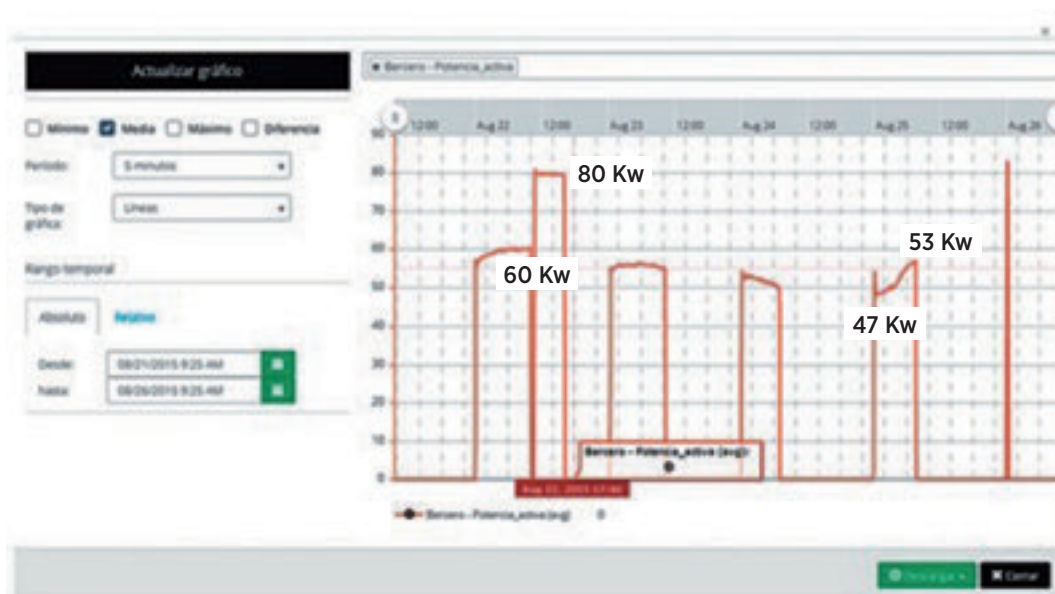


Variación del nivel piezométrico del agua a lo largo de los años y dentro de cada campaña, en sondeos de Alaejos (Va). Fuente CHD 2023

En la instalación del ejemplo, la utilización de variador ha permitido bajar el consumo, desde 80 kW cuando se regaba con la cobertura, a tan solo 60 kW regando con el pivote y emisores de baja presión, esto ha supuesto una disminución del coste energético del 22%, con un retorno de la inversión de 2,2 años. Además, la utilización de variador nos ha permitido reducir la contratación en período llano de 80 kW a 55 kW, esto ha supuesto supone un ahorro adicional en la factura eléctrica del 3,4%.

Pero todavía es posible afinar más, en el pivote del ejemplo la parcela tenía un desnivel de 16 m, el variador nos ha per-

mitido disminuir la energía consumida cuando el pivote se encuentra en la zona más baja de la parcela, para ello ha sido necesario instalar un transductor de presión en el alero del pivote, de forma que la frecuencia del variador sea determinada por la presión en dicho punto, en vez de la presión en el brocal del pozo. Como se muestra en la figura, esto nos ha permitido reducir la potencia absorbida de 57 kW a 47 kW cuando el pivote se encuentra en la zona más baja de la parcela, consiguiéndose un ahorro adicional del 2,3%. La comunicación entre el transductor de presión del alero y el variador se puede realizar por cable o bien mediante comunicación wifi.



Electrobomba

Hay diversos factores a través de los cuales se puede conseguir un óptimo rendimiento y un mínimo consumo eléctrico de la electrobomba.

En primer lugar, es necesario que la electrobomba elegida sea la adecuada para la presión y caudal requeridos, en muchas ocasiones las bombas no son las adecuadas, bien sea por estar sobredimensionadas y por no tener estar diseñadas para el caudal o presión requeridos.

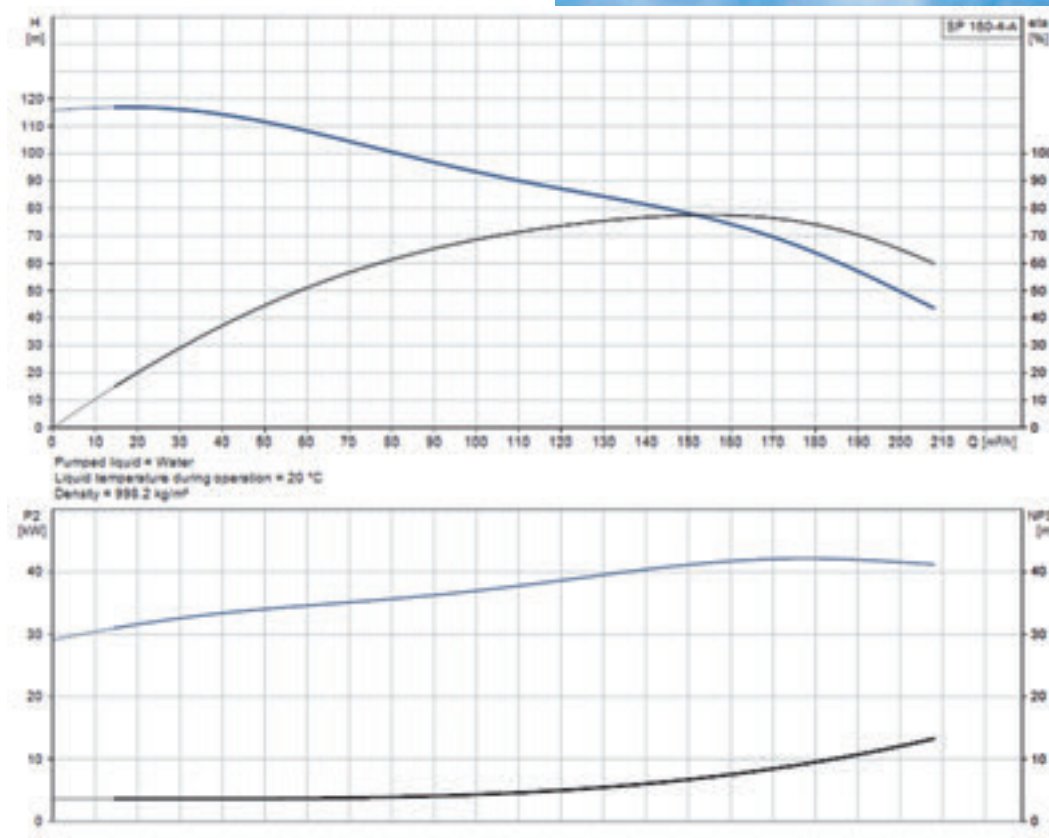
Otro factor que condiciona el consumo es la obsolescencia del equipo, debido a la utilización de una tecnología anticuada o al propio desgaste por el uso. Es fundamental realizar un mantenimiento preventivo de la bomba con objeto de detectar fallos y proceder a solucionarlos mediante actuaciones del siguiente tipo:

- Puesta a punto grupo motobomba
- Recorte del rodete
- Quitar o poner rodetes
- Sustituir bomba
- Sustituir motor
- Sustituir el equipo completo
- Evitar arranque directo del bombeo mediante la instalación de un variador de velocidad



Motor y bomba horizontal para impulsión desde balsa.





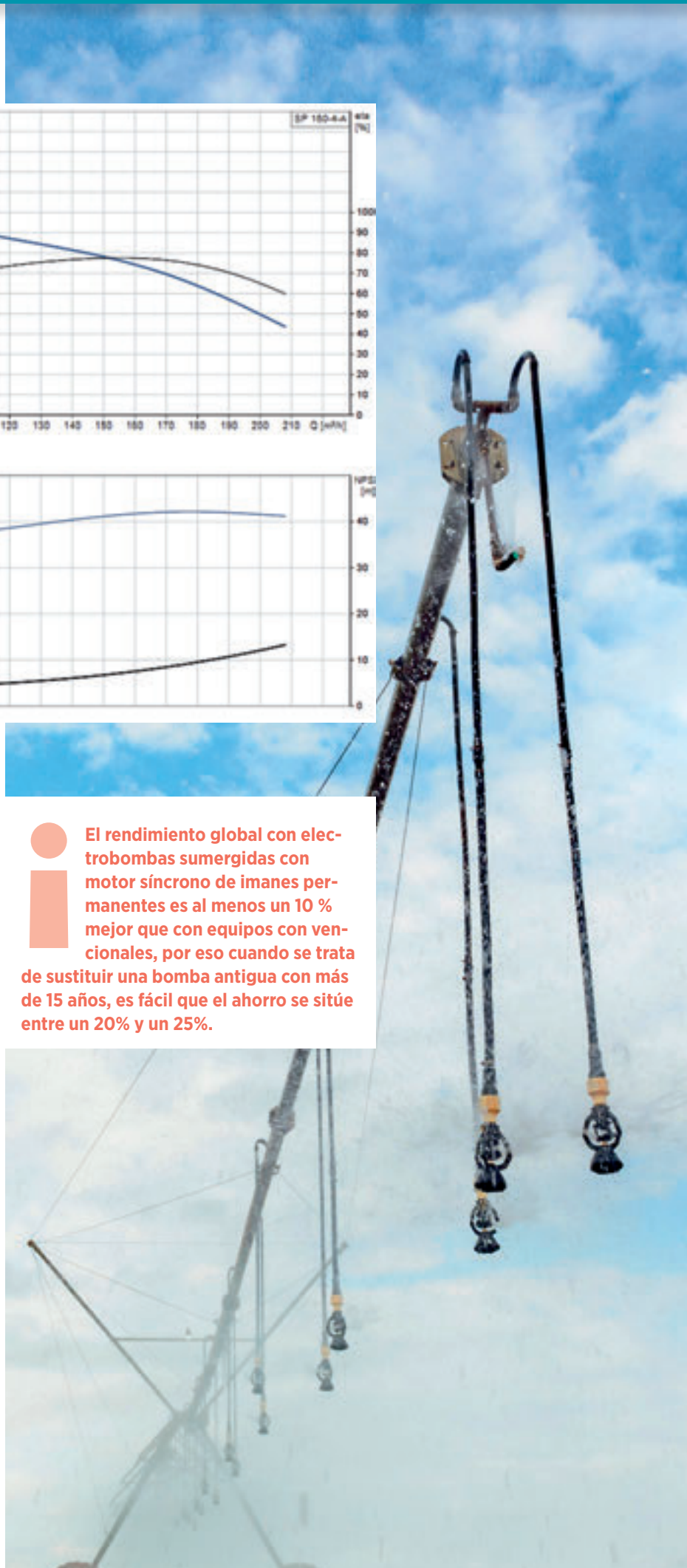
Curvas de una electrobomba sumergida.

En la actualidad se están empezando a utilizar motores de alto rendimiento en bombas sumergidas, se trata de motores síncronos con imanes permanentes, mediante los cuales es posible reducir el consumo al menos un 10% respecto a un motor convencional. Por este motivo y aunque se trata de equipos mas caros, el ahorro compensa su elección.

Otro aspecto a tener en cuenta para optimizar el consumo eléctrico son las pérdidas en el cable, que pueden oscilar entre el 2% y el 4% en el caso de sondeos o perforaciones.

Para ampliación de este apartado aconsejamos la lectura del artículo denominado "Eficiencia energética y mantenimiento de grupos sumergidos de pozo profundo", publicado en la revista AIMCRA nº 124 pags 34-39.

El rendimiento global con electrobombas sumergidas con motor síncrono de imanes permanentes es al menos un 10 % mejor que con equipos con convencionales, por eso cuando se trata de sustituir una bomba antigua con más de 15 años, es fácil que el ahorro se sitúe entre un 20% y un 25%.



EFICIENCIA HIDRÁULICA

La eficiencia hidráulica consiste en disminuir la presión necesaria a la salida de la bomba, pues menor presión supone menor consumo. Esto se consigue de dos formas, disminuyendo la presión de trabajo en los emisores del pivote, en los aspersores de la cobertura o en los goteros del riego localizado, y disminuyendo las pérdidas de carga en la red de distribución, es decir en las tuberías y elementos singulares de la red, tales como válvulas, contador, filtros, codos, etc.

Riego a baja presión

1. Riego a baja presión en pivotes

Es una de las propuestas más interesantes para reducir el coste energético, sustituyendo los emisores convencionales por emisores de baja presión (Nelson, Senninger y Komet), capaces de funcionar a una presión tan solo 0,7 kg/cm², frente a los 2 o 3 kg/cm² que se utilizan habitualmente.

Estos emisores utilizan una tecnología avanzada y producen gotas de tamaño medio y uniforme, poco sensibles a las pérdidas por evaporación y arrastre. La uniformidad de la distribución es similar a la de los emisores convencionales.

En ocasiones los pivotes disponen de cañón final, necesitando que llegue de una

presión de 3 a 4 kg/cm² al extremo del alero, esto hace que el consumo energético de la bomba sea mayor. Para poder regar en el pivote con emisores de baja presión. En el caso de necesitar regar el con cañón del pivot, las soluciones son de cuatro tipos:

1. Instalar un cañón de baja presión, como el Nelson R-55, que funciona bien a una presión de 1,2 kg/cm² y tiene un alcance de 12 m, pero que consigue una mejor calidad en el riego. Eliminar el cañón, y si es el caso compensarlo alargando los ramales de cobertura de las esquinas.
2. Instalar un emisor final sectorial de baja presión, como el Nelson R-xxxx, que funciona bien a una presión de 0,7 kg/cm² y tiene un alcance de 8 m, con una buena calidad en el riego.
3. Eliminar el cañón, y si es el caso compensarlo alargando los ramales de cobertura de las esquinas.
4. Mantener el cañón convencional, instalando un rebombeo que aumente la presión solo en el cañón, de forma que se mantenga el alcance.

Con la utilización de emisores de baja presión, el ahorro de energía que se consigue alcanza un 15% en el caso de sondeos, y puede llegar a un 30% o más en el caso de bombeos de captaciones superficiales.



Cañón para pivot Nelson R-55 de baja presión, 1,2 bar.

2. Riego a baja presión en aspersores de cobertura

En este caso las presiones de trabajo no llegan a ser tan bajas como en los pivotes, pero hay aspersores que en marcos de 12 x 12, de 12x15 y 12 x 18 tienen una buena uniformidad de distribución tra-

bajando. Con una presión de tan solo 1,5 a 2 kg/cm², frente a los aspersores convencionales, cuya presión de trabajo habitual es de entre 3 y 4 kg/cm². Hay varias marcas, como el Nan Dan Jain 5035 o el nuevo aspersor autocompensante Nelson R2000FX Vyrsa y otros.



Naan Dan Jain 5035, riega bien con 1,8 kg/cm² a 12 x 15

R2000FX Opciones de Montaje



Disminución de las pérdidas en la red

1. Tuberías

Cuando en las tuberías las pérdidas de carga son importantes según la longitud, por ejemplo 1, 2 o 3 kg/cm², podemos obtener ahorros importantes, bien sea modificando el manejo de la instalación, por ejemplo, haciendo que pase menos agua por la tubería a costa de alargar el tiempo de riego, o bien sustituyéndola por otra de mayor sección.

2. Válvulas, filtros, y contadores

En las válvulas puede haber pérdidas de carga al igual que en los contadores, pero estas no deben ser importantes.

Las pérdidas en estos elementos pueden ser por ejemplo 0,1 kg/cm² ó 0,2 kg/cm², pero no más, salvo que haya algún problema de obstrucción en la válvula o el contador.

Por supuesto, ninguna llave de paso de la red debería permanecer parcialmente estrangulada durante el riego, bien sea para disminuir el exceso de presión o caudal, pues esta práctica constituye una clara pérdida energética.

Especialmente grandes pueden ser las pérdidas de carga en los filtros, que se instalan cuando los elementos de suspensión en el agua pueden causar problemas de obturación en emisores, sobre todo en el caso del riego por goteo.



Disminuir pérdidas de carga en las tuberías de la red de riego, en este caso sustituyendo una tubería superficial de aluminio por otra de PVC enterrada de mayor sección.



En los filtros se pueden llegar a producir pérdidas de carga de hasta 2 y 3 kg/cm² debido al mal estado o falta de mantenimiento, en cuyo caso se deben sustituir por otros con un eficaz sistema de auto-limpieza y pérdidas de carga inferiores a 0,5 kg/cm².

EFICIENCIA HÍDRICA EN EL RIEGO

El agua más eficiente es la que se aplica en la cantidad adecuada y en el momento en que la planta lo necesita.

Llamamos eficiencia a la capacidad de producir más con menos, en este caso más cosecha con menos agua y por tanto con menos energía.

Para regar de manera eficiente lo primero es conocer las necesidades de los cultivos a lo largo de la campaña de riego y programar los riegos en base a dichas necesidades.

Existen diversos métodos, complementarios entre sí para conocer las necesidades de riego, que facilitan al agricultor la toma de decisiones en cuanto a cuándo, cuánto y cómo regar.

Los métodos de programación más conocidos son los siguientes:

- Balance Hídrico, se trata de llevar una contabilidad de las entradas de agua en la parcela a través del riego y las lluvias, y de las salidas de agua por el consumo del cultivo.
- Sondas de Humedad, consiste en medir directamente el contenido de humedad del suelo que está disponible para la planta a diversas profundidades.
- Teledetección, para la estimación de las necesidades de riego a partir del análisis de imágenes multiespectrales tomadas por satélites o drones.

Además, para lograr la mayor eficiencia hídrica resulta de gran utilidad realizar la automatización y telecontrol de la instalación de riego.

El telecontrol de la instalación, abarca tanto a los grupos de bombeo, como al accionamiento de las válvulas hidráulicas a través de un programador de riegos. Otros elementos que nos ayudan en la gestión diaria del riego son los sistemas de posicionamiento del pívot mediante GPS, y los sistemas de telecontrol del propio pívot.



Filtro en mal estado en una instalación de riego por goteo desde balsa

1. Balance de agua en el suelo, mediante la monitorización de las lluvias y los riegos, y del consumo de agua del cultivo

El balance de agua consiste en tener en cuenta las entradas de agua en la parcela mediante los riegos y lluvias, y restarle el consumo del cultivo, en función de su evapotranspiración, calculada como el producto de la evapotranspiración de referencia y un coeficiente de cultivo dependiente del desarrollo del mismo denominado Kc. El resultado del balance nos muestra el agua que permanece disponible para las plantas en un momento determinado.

La disponibilidad de agua para el cultivo se debe principalmente a la precipitación y el riego, aunque se pueden producir pérdidas por escorrentía y percolación profunda.

Se puede medir el riego y la precipitación con contador y pluviómetro. La evapotranspiración es fácil de obtener utilizando datos de las estaciones meteorológicas cercanas, de organismos públicos tanto nacionales como regionales (AIMCRA, red SIAR, ITACYL, ...) o mediante

estaciones meteorológicas privadas que se pueden instalar en la propia parcela y que llevan implementados los cálculos para estimar la evapotranspiración de referencia a partir de distintos parámetros climáticos. La escorrentía y la percolación profunda se pueden estimar basándose en factores locales como las propiedades del suelo y la pendiente.

La mayor dificultad de este método es que necesita una gran disciplina a la hora de llevar la contabilidad de los riegos, lluvias y consumo de los cultivos. Sin embargo en estos momentos dicho problema se puede resolver mediante la colocación de contadores y pluviómetros conectados a una red de comunicaciones, que nos transmiten de forma automática las entradas de agua en cada sector de riego. En cuanto a los consumos de los cultivos, estos se obtienen de organismos oficiales (SIAR, Itacyl). Toda esta información se envía a una aplicación informática que realiza los cálculos y recomendaciones de riego al agricultor.

Recientemente AIMCRA en colaboración con el SIAR de La Rioja ha desarrollado la aplicación informática "Optiaqua", en la Comunidad de Regantes de la Margen Izquierda del Najerilla. Optiaqua (www.optiacua.org), mediante la cual se realiza el balance hídrico de forma automática para todas las parcelas y cultivos de la comunidad. Las lecturas de riegos y lluvias se obtienen a partir de la información registrada en el telecontrol de la comunidad, y el consumo de los se obtiene a partir de las observaciones meteorológicas proporcionadas por el SIAR de la Consejería de Agricultura de la Rioja. De este modo el agricultor dispone de recomendaciones de riego semanales sin necesidad de realizar ninguna recopilación de datos. Esta aplicación se explica con detalle en el artículo denominado *Optiaqua. Herramienta para gestionar los riegos*, publicada en la revista AIMCRA, mayo 2020, pág 32-33).



Válvulas automatizadas.

Software de telecontrol (riego solar)



Monitorización, automatización y telecontrol.



Gráfico obtenido mediante la aplicación Optiaqua.

Día	Lectura anterior	Lectura posterior	Lluvia	ETc	Kc	ETo	Kc	ETc	ET

Ejemplo de estadillo utilizado para determinar los consumos de la remolacha (Fuente: Técnicas de riego en la remolacha azucarera. AIMCRA, 2001)

Fecha	Nivel inicial	Riego	Lluvia	Consumo	Agua fácilmente disponible

Ejemplo de estadillo utilizado por los AGRICULTORES para seguir el balance de agua de cada una de sus parcelas de remolacha (Fuente: Técnicas de riego en la remolacha azucarera. AIMCRA, 2001)

2. Monitorización del contenido de humedad en el suelo mediante sondas de humedad

Las sondas de humedad permiten registrar en continuo la evolución del agua en el suelo. Es aconsejable utilizar un número suficiente de sensores que aporten información sobre la evolución de la humedad a diferentes profundidades, por una parte, se necesita información de la humedad en la zona radicular más activa (en general, entre 15 y 30 cm de profundidad) y, por otra parte, conocer la evolución del agua por debajo de la zona radicular (generalmente a unos 40 cm de profundidad en cultivos herbáceos). Con esto se puede programar el riego de manera que el agua humedezca la zona radicular, pero no alcance la zona más profunda, lo que va a permitir ahorrar agua, ahorrar en costes energéticos asociados al riego y evitar la contaminación por lixiviados. En resumen, se trata de aportar el agua necesaria para que ésta profundice sólo hasta donde se necesita, evitando excesos.

Los sensores de tipo capacitivo estiman la humedad a través de una propiedad, denominada permitividad compuesta del suelo (ϵ), que engloba las tres fases del suelo (sólidos, agua y aire). Debido a que el valor de la permitividad del agua (80) es muy superior a la del aire (1) y a la de los sólidos (2-5), pequeñas variaciones de la humedad provocan cambios importantes en el valor de esta propiedad, lo que permite estimar el contenido volumétrico de agua en el suelo.

La ubicación de los sensores de humedad debe ser cuidadosa, eligiendo un punto representativo, cuyas características sean las predominantes en la parcela. Para hacer esta elección, hay que basarse principalmente en el conocimiento de la parcela del propio agricultor, en la observación visual, y de forma más precisa, esta decisión se puede apoyar en un mapa de zonas de la parcela. En cuanto a la instalación de los equipos, es importante que los sensores estén en íntimo contacto con el suelo, evitando que queden bolsas de aire o que entren en con-

tacto con piedras, tratando de alterar lo menos posible el terreno.

Al utilizar sensores a distintas profundidades, es conveniente convertir los valores de Contenido Volumétrico de Agua (CVA) expresados como m^3 de agua/ m^3 de suelo, a valores de Agua Disponible para la Planta (ADP), expresados como porcentaje del agua que efectivamente puede utilizar el cultivo. Esto es debido a la variabilidad del suelo, de forma que un mismo valor de CVA tiene distinta disponibilidad de agua para el cultivo, dependiendo de la textura y estructura del suelo. La conversión de CVA a ADP se realiza a partir de la observación y análisis de la información recogida por los sensores, se determina el valor de CVA a capacidad de campo (máxima cantidad de agua que el suelo puede almacenar) para cada profundidad y se establece también, un valor de CVA para el punto de marchitez. Esto permite determinar el Agua Disponible para la Planta (ADP), como la diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez. A continuación, se establece un Nivel de Agotamiento Permisible (NAP), que corresponde al porcentaje de Agua Disponible para la Planta (ADP) que se permitirá que se agote del suelo para que el cultivo se desarrolle en condiciones idóneas.

Un contenido de humedad superior al 100% del ADP significaría un exceso de agua que se pierde por escorrentía o drenaje. Por otro lado, un contenido inferior



Aplicación Optiaqua.

al 50% del ADP podría ocasionar estrés hídrico en el cultivo y, por tanto, disminución de producción.

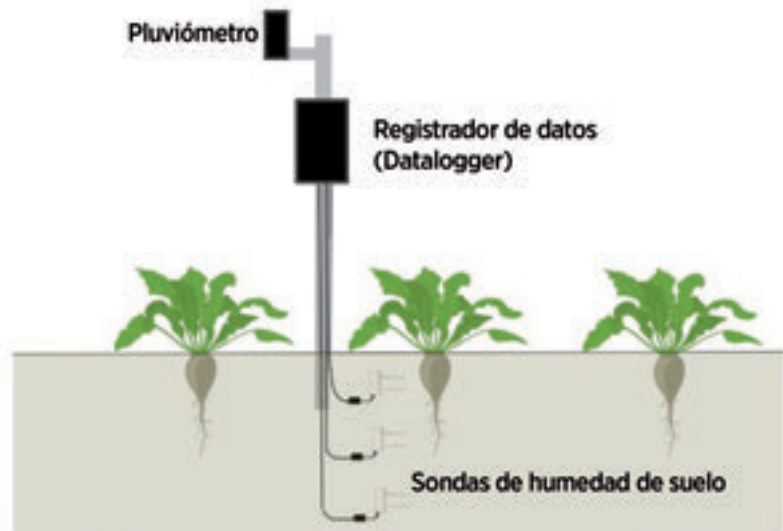
El resultado final que reciba el agricultor deber ser de fácil interpretación e inmediata aplicación. La gráfica de la página siguiente figura muestra la evolución del agua en el suelo a lo largo de una semana (aunque como se analiza diariamente, habrá que prestar especial atención a la parte de la derecha de la gráfica, correspondiente a la información más reciente). La línea verde (medidas del sensor situado a 15 cm de profundidad) y la línea roja (sensor a 30 cm) muestran la



Izqda.: sensor de humedad de suelo, en el momento de su instalación, antes de taparlo para devolver el terreno a su estado inicial. Dcha.: Imagen de un registrador de datos (datalogger) y un pluviómetro instalado en uno de los demostradores utilizados en el proyecto EFFIREM.

evolución en la zona radicular. La línea azul muestra la evolución de la humedad a 40 cm de profundidad, zona que se ha establecido que no interesa humedecer con los riegos para evitar percolación y lixiviación. En el ejemplo indicado, los riegos aportados tienen una dosis adecuada, ya que aumentan la humedad en la zona radicular y no se pierde agua en profundidad. Observando el nivel al que se encuentra la humedad a 15 y 30 cm de profundidad, es el momento de aportar el siguiente riego.

La información diaria recibida por el agricultor sobre la evolución de la humedad del suelo, así como el efecto producido por cada riego aportado, le va a permitir tomar decisiones sobre la idoneidad de mantener la dosis de riego, aumentarla o reducirla, modificar o no los intervalos entre riegos y decidir cuándo aportar el siguiente riego.



Esquema de un punto de control de humedad del suelo, formado por 3 sondas de humedad de suelo, un registrador de datos y un pluviómetro para detectar los aportes de agua (riego o lluvia). Los dos sensores más superficiales aportan información de la zona de mayor actividad radicular. El tercer sensor, colocado a mayor profundidad, mide el contenido de humedad fuera de la zona de mayor influencia de las raíces (Fuente: Efi-Riego. Consultoría agrícola)

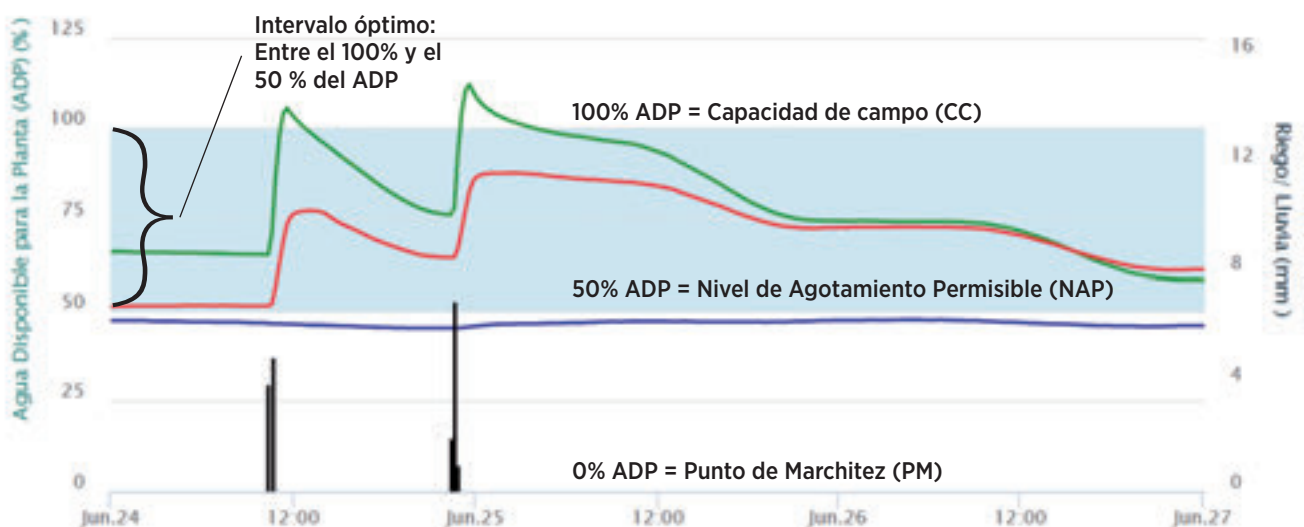
Gráfica de agua disponible para la planta (ADP) (Fuente: Efi-Riego. Consultoría agrícola)

Línea verde, valores obtenidos de la sonda de humedad instalada a 15 cm de profundidad (eje principal).

Línea roja, valores obtenidos de la sonda de humedad instalada a 30 cm de profundidad (eje principal).

Línea azul, valores obtenidos de la sonda de humedad instalada a 40 cm de profundidad (eje principal).

Barras negras, aportes de agua recogidos en el pluviómetro de la parcela (mm) (eje secundario).



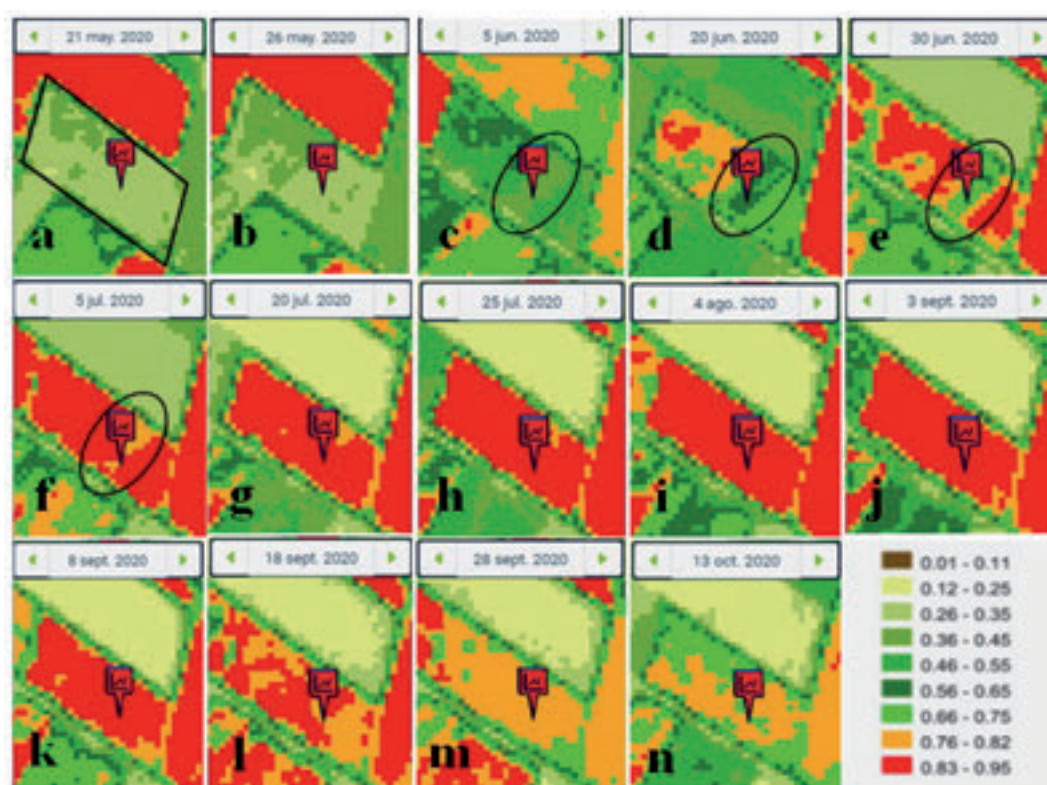
3. Monitorización de la evolución del cultivo mediante teledetección

Los cultivos son procesos biológicos cuyo resultado final depende de lo ocurrido en cada uno de los días del ciclo. De la misma manera que una única inspección a pie de campo no aporta suficiente información para juzgar su pasado y futuro, una única imagen de teledetección sólo brindaría indicios vinculados a la fecha de captura. Por el contrario, una **secuencia de imágenes a lo largo del ciclo del cultivo equivaldría a una serie de inspecciones periódicas en campo**, permitiendo reconstruir los pormenores de su evolución.

Las cámaras que toman las imágenes desde los satélites son sensibles a ciertas longitudes de onda, tanto pertenecientes al espectro visible para el ojo humano como fuera de éste, y capaces de captar la radiación reflejada por los objetos (reflexancia), lo que permite elaborar índices cuantitativos basados en distintas relaciones entre la radiación absorbida y reflejada para cada longitud de onda, como el Índice de Vegetación por Diferencias Normalizado (NDVI, por sus siglas en in-

glés). Este índice tiene una relación lineal con la fracción de radiación fotosintéticamente activa (fAPAR) absorbida por la cubierta vegetal, de la que se deriva un significado biofísico que le hace especialmente robusto y útil para la agricultura. **El NDVI cuantifica el tamaño fotosintético relativo de la cubierta vegetal.** Sus valores oscilan entre 0.15, para superficies donde no hay biomasa fotosintéticamente activa (suelo desnudo o cubierto por biomasa seca con independencia de su cantidad), y 0.91 para superficies donde la biomasa presenta una capacidad fotosintética máxima (típicamente un buen cultivo de alfalfa justo antes del corte).

Monitorización de la evolución de los cultivos mediante teledetección (Fuente: Agrisat Iberia, S.L.)



Secuencia de imágenes a lo largo de un ciclo de cultivo (Fuente: Agrisat Iberia, S.L.)

Conocer la evolución espacial y temporal de la vegetación, caracterizada por los valores del NDVI, permite **monitorizar los cultivos, identificar y localizar posibles desviaciones o anomalías ligadas a factores ambientales o de manejo que hayan podido afectarle**. Por ejemplo: planificación de las visitas a campo, determinación de los puntos de muestreo o control, heterogeneidad y diferencias dentro de la misma parcela en momentos fenológicos críticos, identificación de errores de aplicación de fertilizantes o fitosanitarios, fallos de los sistemas de riego, comparación relativa de variedades, evaluación de pautas de manejo (estrategias de fertilización o protección de cultivos, fechas y densidades de siembra, etc.), incidencia de daños por accidentes meteorológicos, plagas o enfermedades...

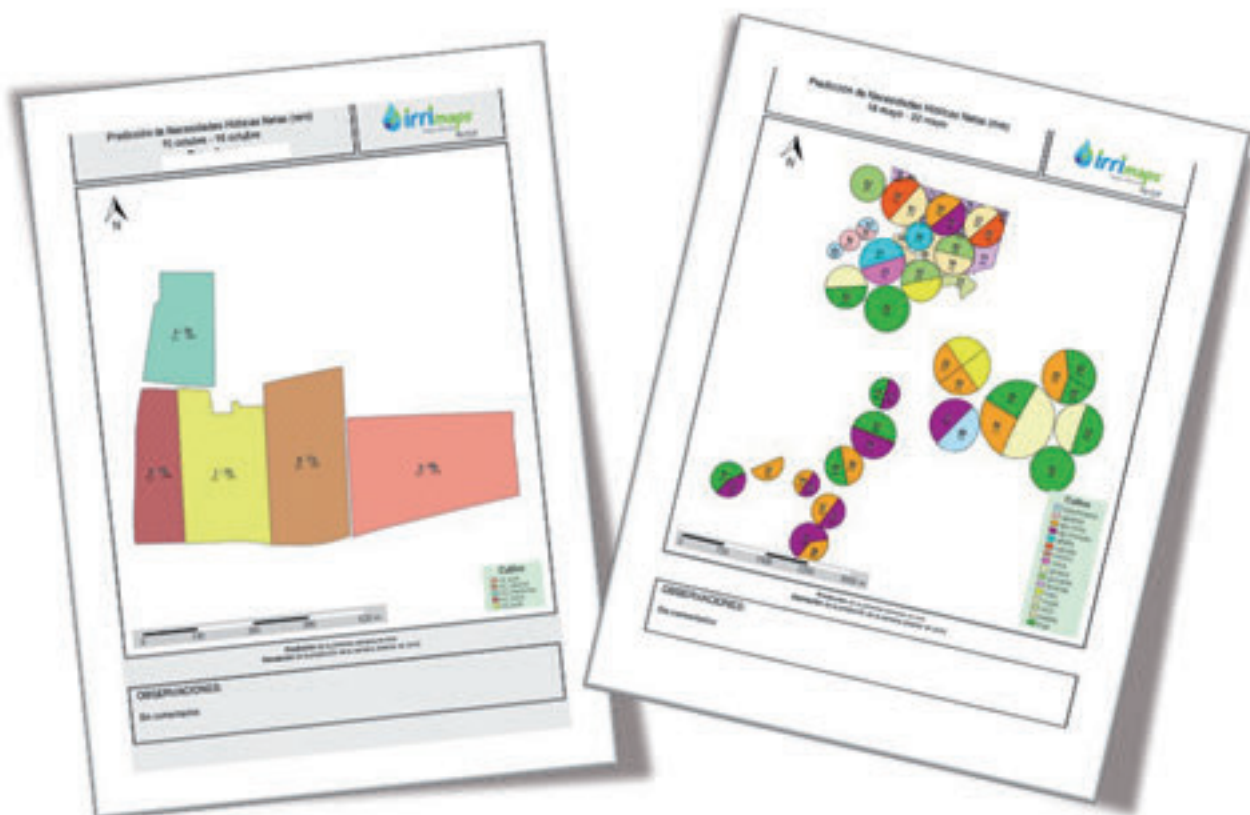
cultivo-Evapotranspiración de referencia" (K_c-ET_0), descrita de forma detallada en el manual de FAO56 (Allen et al., 1998).

Este procedimiento considera que las necesidades hídricas del cultivo (evapotranspiración del cultivo; ET_c) es el producto de dos factores. Uno de ellos, la demanda evaporativa de la atmósfera, o evapotranspiración de referencia (ET_0), que actualmente se puede estimar con una semana de antelación y el otro, un coeficiente de cultivo (K_c) que indica la relación existente entre la cubierta vegetal del cultivo en cuestión y la de un cultivo patrón, utilizado como estándar de referencia para la medición y cálculos experimentales de la ET_0 , habitualmente una pradera de festuca uniformemente segada a una altura de 10-15 cm.

Mapas de predicción. Los valores numéricos de cada parcela representan la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos, con una semana de antelación (Fuente: Agrisat Iberia, S.L.)

Esta monitorización también permite **determinar las necesidades hídricas del cultivo con una semana de antelación**. La metodología, ampliamente utilizada y comúnmente aceptada, para la estimación de las necesidades de agua de los cultivos es la denominada "Coeficiente de

Aunque FAO56 profundiza en el significado del coeficiente de cultivo y lo divide en diversos componentes, por operatividad, en la práctica agrícola diaria, de forma simplificada se suele emplear la fórmula denominada de coeficiente de cultivo "único". La estimación de las necesida-



des hídricas de un cultivo, en ausencia de estrés hídrico, se realizaría mediante la siguiente ecuación:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o$$

La determinación del K_c adecuado, en base a los valores empíricos recogidos en la bibliografía, a menudo implica un alto grado de incertidumbre, máxime cuando se trata de seleccionar un único valor que defina a una parcela de cultivo completa. Las investigaciones científicas han puesto de manifiesto la buena relación lineal existente entre NDVI y el coeficiente de cultivo, lo que permite obtener un K_c realmente ajustado a la situación del cultivo en cada momento, por ejemplo:

$K_c = a \cdot NDVI + b$, coeficiente de cultivo único, siendo a y b valores numéricos dependientes del tipo de cultivo y sistema de riego.

La información periódica que brinda la teledetección permite la consulta de los valores de NDVI para cada píxel de la imagen, con lo que resulta posible el empleo de la fórmula anterior y por tanto el cálculo de los valores del coeficiente de cultivo (K_c) derivado de la situación real del cultivo en cada lugar y momento. Esta información, obtenida de forma remota gracias

a los satélites, sería el equivalente a tener en campo un sensor por cada píxel (100 m²) capaz de registrar en continuo la evolución de la biomasa del cultivo, gracias a la cual se puede establecer una metodología rigurosa y objetiva, que garantiza la reducción de la incertidumbre y el mejor ajuste posible del cálculo de las necesidades hídricas netas al estado real del cultivo, en cada parcela o unidad de manejo de riego concreta y a lo largo del tiempo.

4. Monitorización del consumo energético, presión, caudal y nivel del agua en el pozo

La monitorización del consumo energético, presiones, caudales y nivel de agua en el pozo nos permite conocer el rendimiento de la bomba, y en base a ello programar los mantenimientos preventivos del sistema de bombeo.

En los campos demostrativos realizados en durante estos años, gracias a la utilización de estas tecnologías, se ha conseguido mejorar la gestión del riego y la calidad de vida del agricultor, al tiempo que se han logrado mejoras importantes en el rendimiento de los cultivos y ahorro de agua y energía.





Protocolo de auditoría energética e hídrica en explotaciones de regadío

Miguel Mora, Alberto Hernández y Jorge Vera. Moval Agroingeniería, S.L.



CONTEXTO

El agua y la energía son aspectos estratégicos para la sostenibilidad de los regadíos y la producción de alimentos para abastecer a la población creciente.

Pese a su importancia no existía un protocolo para auditar hídrica y energéticamente una explotación de regadío, al igual que sí existen protocolos en otros sectores y subsectores productivos: comunidades de regantes, automoción, electrodomésticos, viviendas, etc.

Este vacío lo ha identificado el grupo de innovación EFFIREM y, para cubrirlo, el socio del proyecto MOVAL AGROINGENIERÍA, ha redactado el “PROTOCOLO DE AUDITORÍA ENERGÉTICA & HÍDRICA” para una explotación de regadío. Este documento marco ha permitido estandarizar cómo auditar una explotación para alcanzar una mejora integral y dar certidumbre a agricultores, ingenierías y otros agentes implicados (universidades, centro de investigación, entidades bancarias, etc.).

PASOS PARA AUDITAR ENERGÉTICA & HÍDRICAMENTE UNA EXPLOTACIÓN DE REGADÍO



En primer lugar, hay que inventariar la explotación:

ASPECTOS A INVENTARIAR DE LA EXPLOTACIÓN

- Zona regable: cultivos, cotas, superficie, producción, etc.
- Fuentes de agua: pozo, superficial, EDAR, etc.
- Infraestructura de almacenamiento de agua
- Red de riego: trazados, diámetros, materiales, etc.
- Filtrados
- Equipos de bombeo
- Transformadores
- Fuentes de suministro energético
- Funcionamiento habitual sistema

En segundo lugar, hay que analizar el consumo energético de las diferentes fuentes de energía:

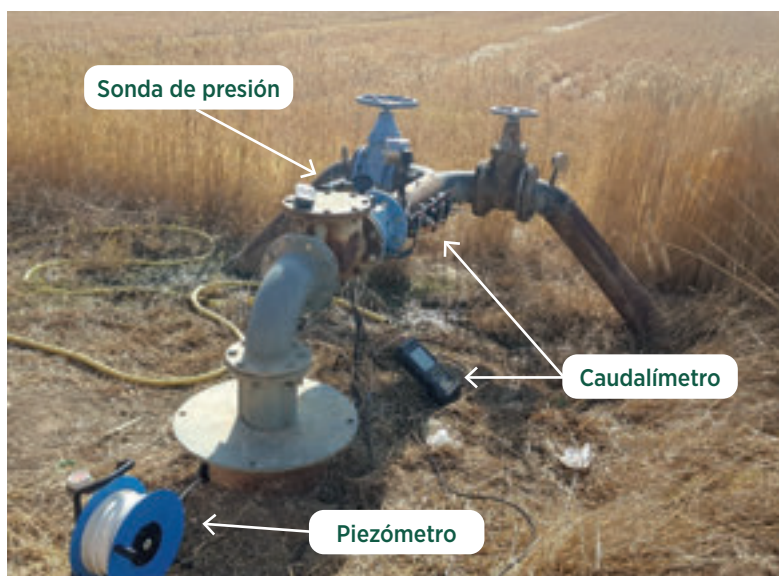
ANALIZAR CONSUMO ENERGÉTICO EXPLOTACIÓN

- Electricidad
- Gasóleo
- Fotovoltaica

En tercer lugar, hay que medir en campo los parámetros eléctricos e hidráulicos para conocer la eficiencia energética de cada equipo de bombeo para los distintos sectores de riego y otros destinos del agua (ejemplo: llenado balsa).

El indicador de eficiencia energética nos permitirá chequear el estado de los equipos de bombeo.

Para medir la eficiencia energética en campo se necesitan estos equipos portátiles correctamente calibrados para registrar las siguientes variables:



Medida parámetros hidráulicos (caudal, presión y nivel de agua dinámico) con equipos portátiles no invasivos.

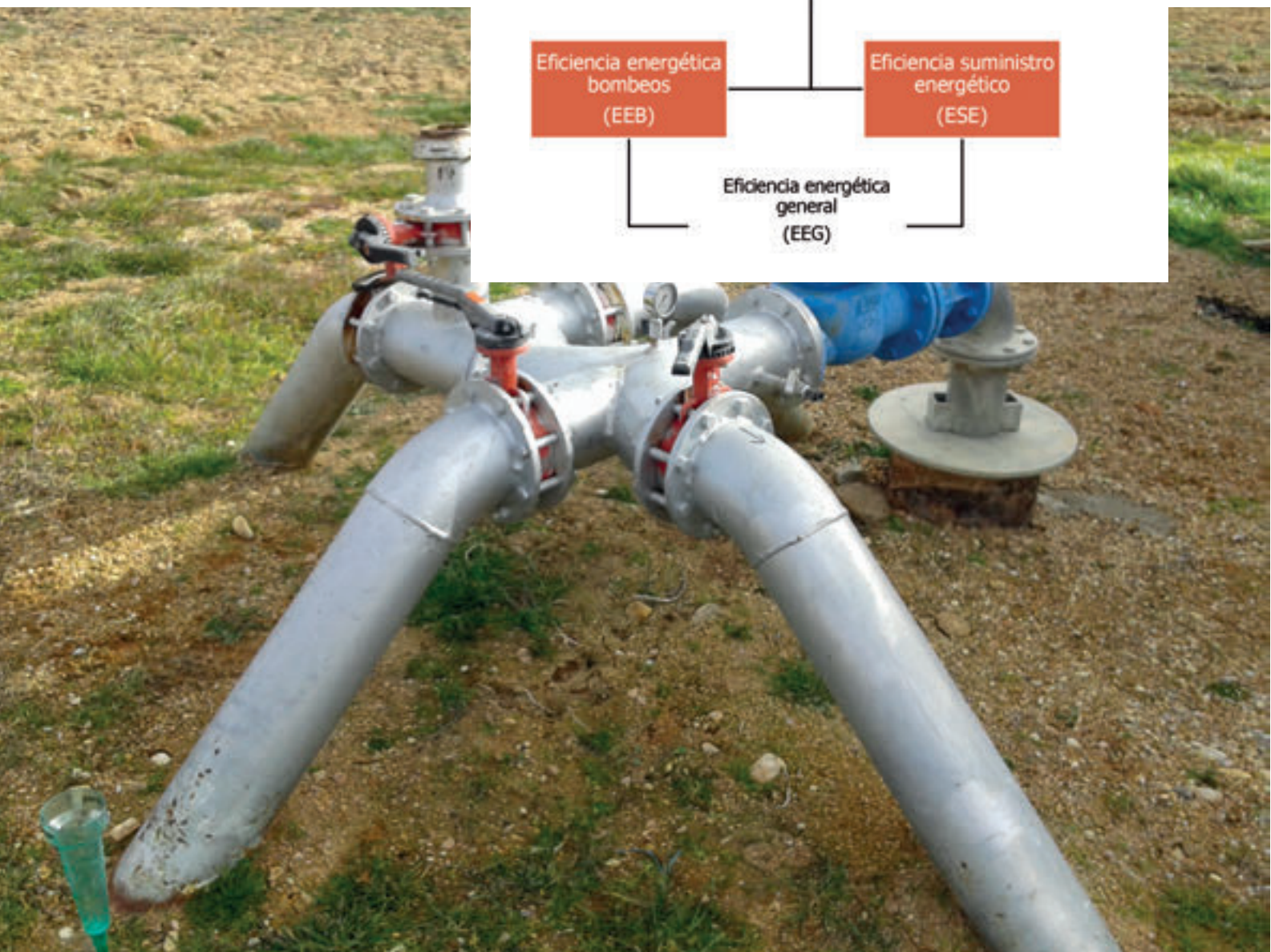


Medida de parámetros eléctricos en cuadro con analizador de redes portátil no invasivo.

En cuarto lugar, se requiere realizar un análisis geoespacial de la zona regable y un balance energético de dicha zona regable con respecto a los puntos de captación de agua y la energía requerida por los distintos sistemas de riego (goteo, pivot, carros de riego, etc.). Con todo ello, se calculará la eficiencia de suministro energético, indicador que nos permitirá chequear el correcto diseño y manejo de la infraestructura.

En quinto lugar, una vez inventariada la explotación y realizadas las medidas en campo se pasa a obtener diferentes indicadores:

Y a calificar energética e hídricamente explotación:



Calificación energética

Eficiencia energética de los bombeos (EEB)

CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES (%)
A	EFICIENCIA EXCELENTE	$EEB > 65$
B	EFICIENCIA BUENA	$60 \leq EEB \leq 65$
C	EFICIENCIA NORMAL	$50 \leq EEB \leq 60$
D	EFICIENCIA ACEPTABLE	$45 \leq EEB \leq 50$
E	EFICIENCIA NO ACEPTABLE	$EEB < 45$

Eficiencia energética general (EEG)

CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES (%)
A	EFICIENCIA EXCELENTE	$EEG > 62$
B	EFICIENCIA BUENA	$54 \leq EEG \leq 62$
C	EFICIENCIA NORMAL	$43 \leq EEG < 54$
D	EFICIENCIA ACEPTABLE	$36 \leq EEG < 43$
E	EFICIENCIA NO ACEPTABLE	$EEG < 36$

Eficiencia de suministro energético de la infraestructura (ESE)

CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES (%)
A	EFICIENCIA EXCELENTE	$ESE > 95$
B	EFICIENCIA BUENA	$90 \leq ESE \leq 95$
C	EFICIENCIA NORMAL	$85 \leq ESE < 90$
D	EFICIENCIA ACEPTABLE	$80 \leq ESE < 85$
E	EFICIENCIA NO ACEPTABLE	$ESE < 80$

Grupo consumo energético. EPH: Energía consumida por hectárea regada (kWh/ha y año)

GRUPO	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES (KWH/HA Y AÑO)
1	NO CONSUMIDORA	$EPH = 0$
2	POCO CONSUMIDORA	$0 < EPH \leq 1.000$
3	MEDIA CONSUMIDORA	$1.000 < EPH \leq 2.000$
4	CONSUMIDORA	$2.000 < EPH \leq 3.000$
5	GRAN CONSUMIDORA	$EPH > 3.000$

Calificación hídrica

CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES(%) EXCESO RIEGO
A+	EXCELENTE	$100 \leq RIS < 105$
B+	BUENA	$105 \leq RIS \leq 110$
C+	NORMAL	$110 < RIS \leq 115$
D+	ACEPTABLE	$115 < RIS \leq 120$
E+	NO ACEPTABLE	$RIS > 120$

CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES(%) DÉFICIT RIEGO
A-	EXCELENTE	$95 < RIS \leq 100$
B-	BUENA	$90 \leq RIS \leq 95$
C-	NORMAL	$85 \leq RIS < 90$
D-	ACEPTABLE	$80 \leq RIS < 85$
E-	NO ACEPTABLE	$RIS < 80$

RIS: Suministro relativo de agua de riego.

Finalmente, se llega al apartado de mejoras propuestas, en el cual, se describe la actuación, se valoran los ahorros, inversión necesaria, plazo amortización, etc.

Las mejoras potenciales se han agrupado en 11 bloques diferentes para poder valorar cuales son susceptibles de aplicación a cada explotación auditada:

TIPO MEJORA	DESCRIPCIÓN
Contratación energía	• Estudio negociación precios energía • Optimización potencia contratada • Reducción impuesto especial eléctrico • Adquisición contador energía eléctrica en propiedad • Mejora factor de potencia • Instalar discriminadores horarios para impedir operar en periodos tarifarios no deseados
Derecho agua	• Agrupar concesiones de agua • Dividir concesiones de agua • Regularizar concesiones de agua
Equipo bombeo	• Puesta a punto grupo motobomba • Recorte rodete • Quitar o poner rodetes • Sustituir bomba • Sustituir motor • Sustituir equipo completo • Evitar arranque directo bombeo mediante implantación de arrancador o variador velocidad
Cable	• Aumentar sección cable • Aumentar nº de cables por fase • Sustituir cables • Aumentar tensión alimentación (conllevaría cambio trafo y cambio motor o rebobinado motor)
Material de riego	• Empleo de emisores de menor presión para su funcionamiento • Empleo de filtrados de menor presión para su funcionamiento
Dosis riego	• Seguir un plan de riego para ajustar volumen aplicado a necesidades de agua en cada fase del cultivo. • Empleo de sensores de humedad del suelo para conocer estado del suelo a cada profundidad y mejorar la eficiencia de aplicación del riego • Instalación de pluviómetros para conocer el agua externa que ha entrado a la explotación
Monitorización de eficiencia energética	• Instalación de sensórica para conocer la eficiencia energética de cada bombeo (caudalímetros, sondas de presión, piezómetros y analizadores de redes eléctricas)
Sistema gestión integral	• Para centralizar toda la información relevante de la explotación: caudales de agua, potencias eléctricas absorbidas, presiones, niveles pozos, eficiencia energética, cartografía, recomendaciones de riego, etc.
Manejo y regulación infraestructura	• Eliminar estrangulamientos válvulas • Reorganizar sectorización del riego • Ajustar consignas de presión bombeo a necesidades sistema riego mediante empleos variadores de velocidad y recopilación de información captada por sondas de presión instaladas en puntos críticos de la red • Aumentar la frecuencia de los riegos para intentar desplazar al máximo el consumo energético a los periodos tarifarios más económicos
Conducciones y sondeo	• Sustituir tramos columna impulsión con fugas • Aumentar sección tuberías con elevada pérdida de carga • Desdoblar trazados con elevadas pérdidas de carga • Rehabilitar entubación del sondeo
Diseño	• Desacoplar extracción de agua del pozo de la inyección directa a la red mediante la ejecución de balsa intermedia de regulación y bombeo de inyección directa a red de riego • Tapado balsa para reducir las pérdidas de agua por evaporación
Energía fotovoltaica y acumulación	• Ejecutar instalaciones de energía solar fotovoltaica (aisladas o conectadas, según caso) • Instalar baterías de acumulación
Grupos electrógenos	• Instalar nuevos grupos electrógeno de mayor eficiencia ajustado a las exigencias de los equipos de bombeo abastecidos

Eficiencia en sistemas de bombeo

Juan de Dios López Albaladejo,
Ingeniero Técnico Industrial



¿QUÉ HAY QUE HACER PARA MEJORAR LA EFICIENCIA?

Los elevados costes de la energía eléctrica hacen imprescindible la correcta utilización de este recurso, aplicado en nuestro caso a la extracción y conducción del agua con destino al riego, abastecimiento, etc. Se hace pues necesario valorar como estamos empleando estos recursos mediante una auditoría energética de nuestras instalaciones.

La auditoría energética del bombeo debe ser el primer paso dentro de las medidas encaminadas a conseguir un ahorro energético, y siempre previa al estudio de las tarifas eléctricas, ya que puede darse el caso de tener que modificar a la baja la potencia contratada en el bombeo.

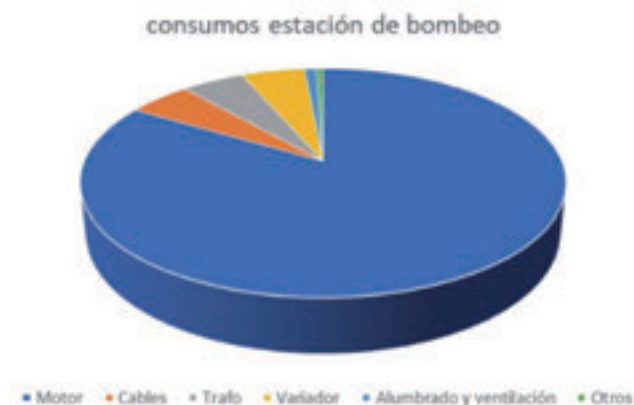
Las bombas suponen con diferencia el consumo de energía más importante de un sistema de riego o de abastecimiento (hasta el 80% de los gastos de una explotación). Otros elementos consumidores de energía serían los cables, tuberías, válvulas, cuadro eléctrico, transformador, ventilación, alumbrado, etc., que pueden sumar un consumo nada despreciable y por tanto merecen ser incluidos en cualquier auditoría energética.

¿QUÉ ELEMENTOS DEBE INCLUIR UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA?

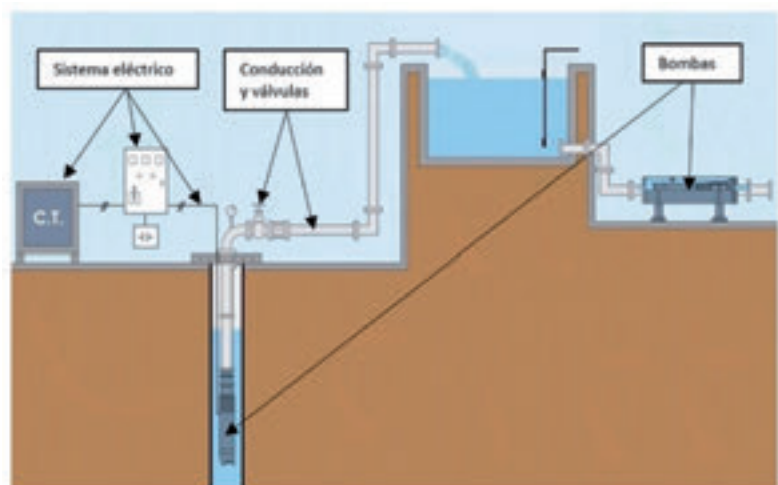
Junto a los resultados de la eficiencia energética del bombeo se dejará constancia de las deficiencias observadas en la instalación, tanto las que afectan al diseño como al tipo de máquina empleada y a las protecciones encaminadas a evitar daños y gastos en general en la explotación. También se valorará el mantenimiento de la máquina.



Elementos que intervienen en una auditoría energética.



Distribución de consumos en una estación de bombeo.



Elementos significativos de un bombeo.

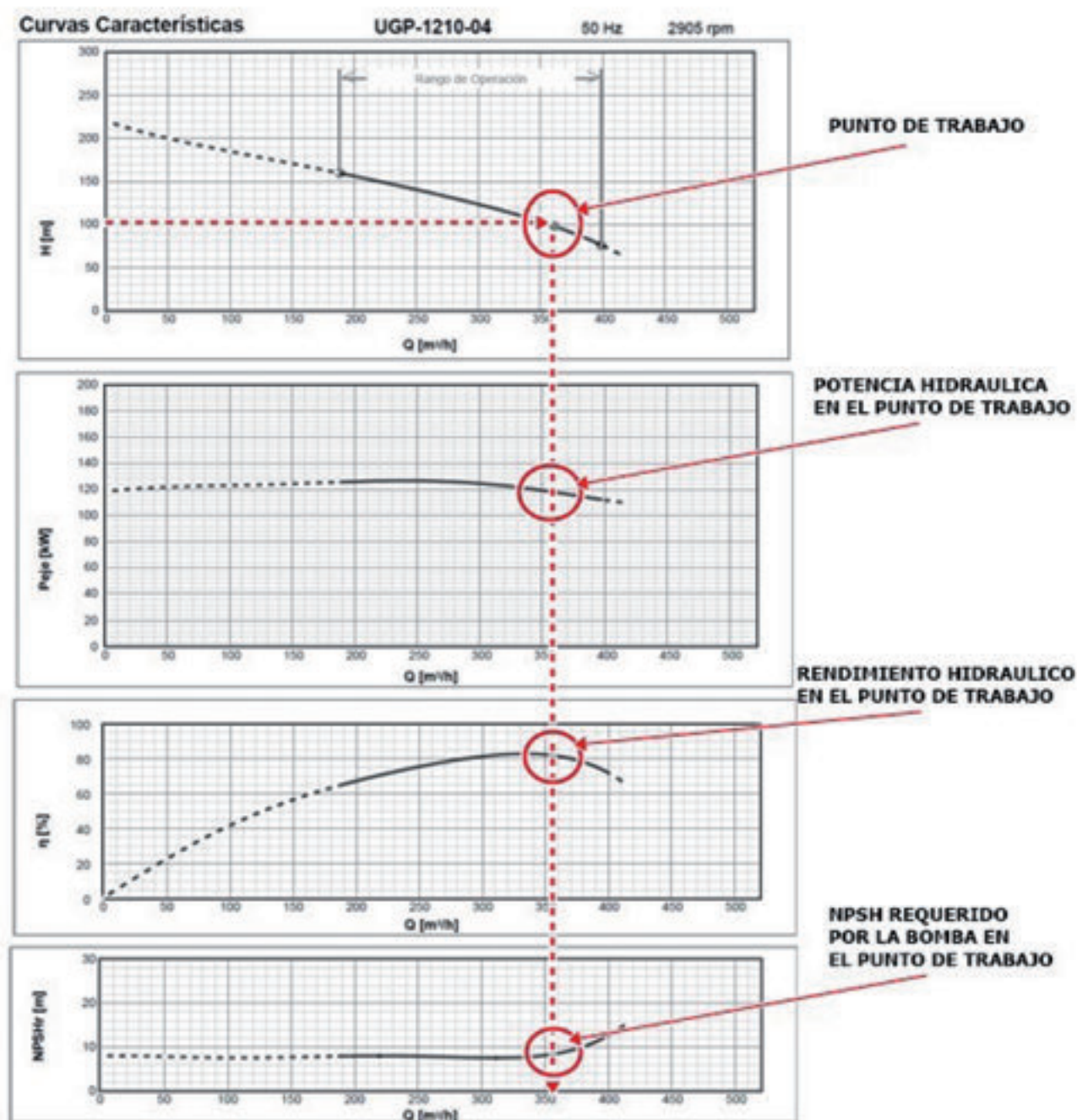
¿CÓMO SE SELECCIONA UNA BOMBA?

Características de la bomba:

Las curvas de una bomba contienen todos los datos necesarios para seleccionar la que mas se ajuste a las necesidades de la instalación en cuanto a rendimiento, consumo de energía y condiciones de trabajo.

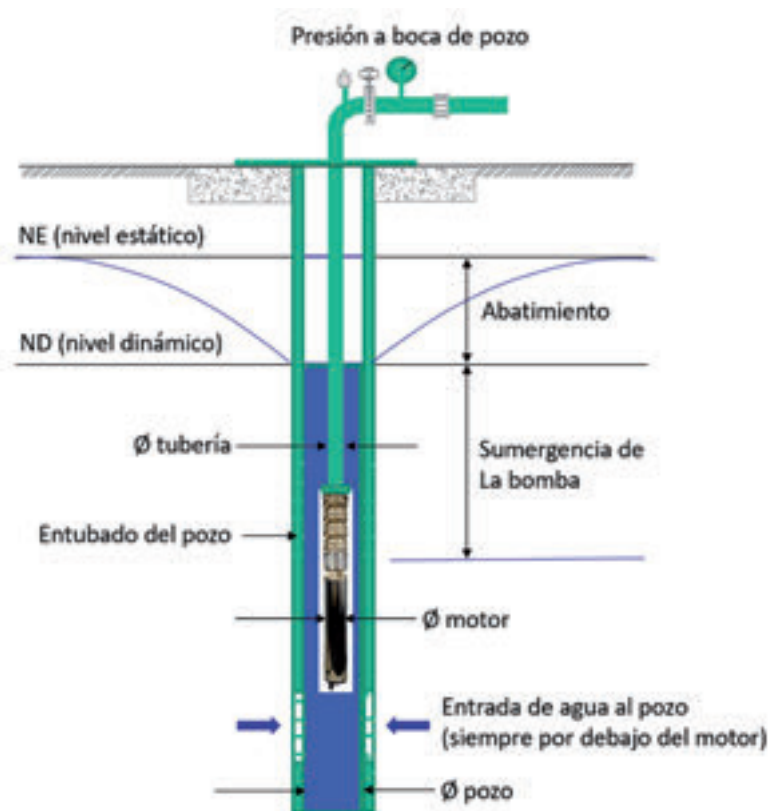
También debemos solicitar información sobre los materiales constructivos de la bomba y del motor. De este último además tendremos su rendimiento, consumo en amperios, etc. con los que dimensionar el resto de la instalación. La potencia del motor (la mínima necesaria) viene asignada por el fabricante para cada modelo de bomba.

Conjunto de curvas características de una bomba INDAR UGP-1210-4.



Altura manométrica (Hm) en pozos:

El nivel del agua en un pozo se conoce como NIVEL ESTÁTICO (NE). Una vez que se pone en marcha la bomba se produce un descenso de nivel que es función del caudal bombeado. Al cabo de un cierto tiempo el nivel se estabiliza. Este nuevo nivel se conoce como NIVEL DINÁMICO (ND). La diferencia entre ambos niveles se llama abatimiento.



La altura manométrica será:

$$Hm = h_{fa} + h_{fi} + ND + P$$

Hm: altura manométrica en metros de columna de agua (m.c.a.)

h_{fa} : pérdidas de carga en aspiración (m)
(no se suelen tener en cuenta por ser pequeñas)

h_{fi} : pérdidas de carga en tubería impulsión del pozo (m)

ND: nivel dinámico del agua en el pozo (m)

P: presión en metros a la salida del pozo (m)

Croquis de un pozo.

Curva de CAUDAL-ALTURA

La curva permite conocer el comportamiento de la bomba en función de la altura de trabajo. En el ejemplo: Bomba INDAR UGP 1210-04 vemos que para una altura manométrica de 100 m.c.a. la bomba suministra un caudal de 360 m³/h (100 l/s). Las unidades de caudal más utilizadas por los fabricantes de bombas son: l/s, m³/h, l/m y l/h. La altura siempre en metros.

Aunque el fabricante nos presente la curva en toda su amplitud (desde caudal cero hasta el máximo), hacer trabajar a la bomba fuera del rango de operación recomendado puede tener consecuencias negativas tanto para la hidráulica como para el motor (se producen anomalías, vibraciones, flexiones del eje y un mayor desgaste general que acorta la vida de cojinetes y sellos mecánicos).

Curva de POTENCIA HIDRÁULICA

La potencia hidráulica consumida por la bomba para cada punto de funcionamiento es la potencia que la bomba pide al motor en su eje. Su valor máximo sirve para dimensionar la potencia que debe tener el motor.

En bombas sumergibles se aconseja que la potencia del motor supere un 10-15% la potencia máxima de la bomba.

La potencia hidráulica se expresa en KW y no debe confundirse con la potencia consumida de la red. También se expresa, cada vez menos, en CV (no es unidad en el S.I.).

Para cualquier punto de la curva Q-H facilitada por el fabricante, podemos obtener la potencia hidráulica mediante la siguiente fórmula:

$$P_n(Kw) = \frac{\gamma \times Q \times H \times 0.736}{75 \times \eta}$$

P = potencia bomba (Kw)

γ = peso específico (N/m³)

Q = caudal (l/s)

H = altura manométrica total (m)

η = rendimiento de la bomba (%).



Curva de RENDIMIENTO

Como cualquier máquina las bombas no son capaces de transformar en presión toda la energía que le suministra el motor, la curva rendimiento nos dirá el grado de eficiencia para cada valor de altura manométrica.

Puede haber pequeñas diferencias de rendimiento máximo entre distintos modelos de bombas, pero hay que tener en cuenta también el rango de operación, la potencia hidráulica máxima (puede decidir la potencia del motor) y en bombas con poca sumergencia el NPSH.

Curva de NPSH

El NPSH (Net Positive Suction Head, o altura neta positiva en la aspiración) es la presión mínima que debe haber en la entrada de la bomba para evitar fenómenos de cavitación. El fabricante nos muestra el valor del requerido (NPSHr) por la bomba para cada punto de funcionamiento. Una vez confirmado el punto de trabajo hay que comprobar que el NPSH disponible en la instalación tiene un valor superior al solicitado por la bomba.

Para evitar cavitaciones en los pozos se recomienda una sumergencia de la bomba de unos 15 m.

¿QUÉ TIPO DE BOMBA PONER?

La oferta actual en el mercado de bombas es bastante amplia, sin embargo, podemos resumirla en tres tipos de bombas más representativas:

Bombas de gama alta

Hidráulica completa en fundición de acero inox AISI 316, impulsores fijados al eje mediante chaveta, distanciadores inox. entre impulsores. Estator motor de acero de considerable espesor. Fijación de las tapas portacojinetes mecánicamente (sin ningún tipo de soldadura). Ejemplo: INDAR.

Se fabrican en tamaños que van desde las 8" hasta las 48" en 2-4-6 y 8 polos, tensiones hasta 13.800 V y potencias de motores desde 27 CV hasta los 4.425 CV.

Tienen como característica principal la robustez tanto eléctrica como mecánica.

Son muy apreciadas allí donde se quieren evitar al máximo las paradas de producción tanto por desgaste como por averías.

Bombas de gama media

Hidráulica completa en fundición de acero inox. AISI 304, impulsores fijados al eje mediante piezas cónicas a presión. Estator motor de chapa inox. 304 soldada. Ejemplo: WATEX, LOWARA.

Actualmente son las bombas más demandadas en potencias medias (100-300 CV) por su relación calidad/precio.

La unión de bomba con la tubería de impulsión es de rosca.

Bombas de chapa o fundición en las que los cuerpos de bomba van apilados y unidos por la presión que ejercen unos tirantes

Estas bombas, debido a su proceso de fabricación y a los materiales empleados son las más económicas y compiten en el mercado de la bomba mediana y pequeña. Se fabrican en 4-6-8-10 y 12".

En las bombas de chapa, tanto los impulsores como los cuerpos están formados por piezas de chapa obtenidas por estampación y luego unidas mediante soldadura. El material estándar empleado suele ser acero inoxidable AISI 304. La unión de bomba con la tubería de impulsión es de rosca.



Distintos tipos de bomba en función de los materiales empleados en su fabricación. De izquierda a derecha: INDAR, WATEX+ y Bomba de chapa.

¿CUÁNTO DEBE CONSUMIR MI BOMBA?

Potencia consumida por el motor = Potencia hidráulica demandada por la bomba en el punto de trabajo dividida por el rendimiento del motor

$$P(Kw) = \frac{P_h}{R_m} \times 100$$

P= potencia consumida por el motor (KW).

Ph= potencia hidráulica de la bomba en el punto de trabajo de la bomba (KW).

Rm= rendimiento del motor en %.

Es aconsejable que los motores sumergibles estén sobredimensionados un 15% por encima de la potencia máxima de la bomba a fin de protegerlos ante cualquier sobrecarga o refrigeración deficiente.

Si no se dispone de los datos del motor podemos usar la tabla 1.

La potencia medida por la compañía eléctrica será algo superior debido a las pérdidas de potencia en los cables, accionamiento (arrancador, variador), el transformador y otros consumos menores (alumbrado, climatización, etc.).

Pmedida por la cía eléctrica(Kw)>P(Kw)

Motores síncronos de alta eficiencia

Los motores síncronos necesitan de un variador para su funcionamiento. Tienen rendimientos superiores a los motores asíncronos (que hoy por hoy representan el 99,9 % del mercado).

Los motores síncronos son mucho mas costosos por lo que el plazo de amortización es largo.

En caso de avería el agricultor necesitará el reemplazo inmediato del motor, es imprescindible que el servicio que ofrezca el fabricante de este tipo de motores síncronos sea al menos igual de eficiente que el de un motor asíncrono (coste y plazos de reparación o suministro de uno nuevo).

Ejemplo:

Motor síncrono de 75 KW:

92% de rendimiento. Precio: 17.800 € *

Motor asíncrono de 75 KW:

86% de rendimiento. Precio: 3.800 € *

*precios PVP aproximados

POTENCIA DEL MOTOR	COS φ			RENDIMIENTO %		
	1/2	3/4	1/1	1/2*	3/4*	1/1*
DE 0.3 A 5 CV	0.6	0.75	0.85	72	75	75
DE 5.5 A 60 CV	0.76	0.84	0.86	81	83	83
DE 65 A 100 CV	0.75	0.82	0.85	84	85	86
DE 100 A 250 CV	0.80	0.85	0.86	87	88	88
DE 255 A 600 CV	0.82	0.86	0.86	88	90	90
DE 600 A 1000 CV	0.82	0.86	0.87	85	89	91

TABLA 1. Rendimientos orientativos de motores sumergibles en función de su potencia y carga parcial(*).

¿CUÁL ES LA EFICIENCIA DE MI INSTALACIÓN?

El IDAE, del Ministerio de Industria y Energía, pone a nuestra disposición un Protocolo de Auditoría Energética para Comunidades de Regantes. Nosotros solo vamos a usar una pequeña parte, la relativa a valorar la eficiencia de la bomba.

Llamamos E.E. (eficiencia energética) a la relación entre la potencia ideal P_s (rendimiento bomba x motor=1) y la potencia medida de la red P_a (KW).

El resultado lo cotejamos con la siguiente tabla:

CALIFICACION PROTOCOLO AUDITORIA - IDAE

EEB>65%	A	EXCELENTE
60-65%	B	BUENA
50-60%	C	NORMAL
45-50%	D	ACEPTABLE
EEB<45%	E	NO ACEPTABLE

Calificación energética del grupo electrobomba.

Ratios para control de la instalación

Índice energético (wh/m³/m):

Con este ratio obtenemos un valor de la potencia invertida para extraer un metro cúbico de agua a un metro de altura. Se considera como BUENO un valor igual o menor de 5 Wh/m³/m

$$\text{Índice energético} = \frac{P(\text{KW}) \times 1.000}{3.6 \times \text{caudal (l/s)}/\text{Nivel (m)}}$$

Consumo específico (kw-h/m³):

Con este ratio podemos valorar la potencia invertida por metro cúbico extraído de agua. Conocido el precio de la energía obtenemos directamente el precio del m³ bombeado: €/m³.

$$\text{Consumo específico} = \frac{P(\text{KW})}{3.6 \times \text{caudal (l/s)}}$$



Publicación del IDAE (ver en internet).



SISTEMAS DE MEDICIÓN DE NIVEL DEL AGUA EN POZOS

Los sistemas para medir el nivel de agua en los pozos son:

1. Sonda eléctrica manual

Este tipo de sonda manual va montada en un soporte que incluye una fuente de alimentación (pila) y un zumbador. Se va metiendo por el tubo portasondas (normalmente de acero galvanizado de $\frac{3}{4}$ " y cuando llega al agua suena el zumbador. La escala graduada que lleva impresa nos da lectura directa de la profundidad del agua.

No son muy utilizadas, salvo por profesionales del sector del agua, debido a su alto coste y fragilidad pues se pueden rozar e incluso atrancarse y no poder recuperarla.

Son muy apropiadas para los aforos de pozos y allí donde es importante un control preciso del nivel dinámico.



2. Sonda de nivel continuo

La sonda, formada por un transductor de presión con salida 4-20 mA, Modbus, 0-10V, etc., conecta con un indicador donde se puede ver el nivel de agua en el pozo, permitiendo el telemando y registro de los datos. Esto permite obtener la evolución de los niveles con el paso del tiempo.

Como inconvenientes hay que resaltar que necesita de un tubo para introducir la sonda y esto supone en pozos profundos un aumento considerable del peso y diámetro de la instalación. El cable está formado por varios conductores y un tubo de compensación.

Es el mejor sistema de control pero la sonda es muy cara, frágil y complicada de reparar si se rompe. Su uso está reservado casi exclusivamente a pozos de la administración.

Medida de nivel de agua en pozo con sonda de nivel continuo.

3. Sonda neumática

Introducimos en el sondeo un tubo de neumática de 4 a 10 mm de diámetro con su extremo inferior abierto. El tubo es atado a la tubería del pozo junto con los cables de alimentación al motor por lo que ya no es necesario el tubo portasondas (ahorro considerable y gran ventaja en sondeos estrechos).





Medidor de nivel de burbujeo continuo.
Distribuidor: JUAN AZCUE S.A.

El tubo, por su parte inferior llega hasta el carrete de unión tubería bomba, y por la parte superior se conecta a un cuadro eléctrico que incorpora un compresor de aire y un transductor de presión. Cuando bombeamos aire, este desplaza la columna de agua que contiene el tubo hasta que por su extremo solo sale el aire que se bombea. En ese momento el transductor o manómetro conectado en cabeza mide los metros de columna de agua desplazados.

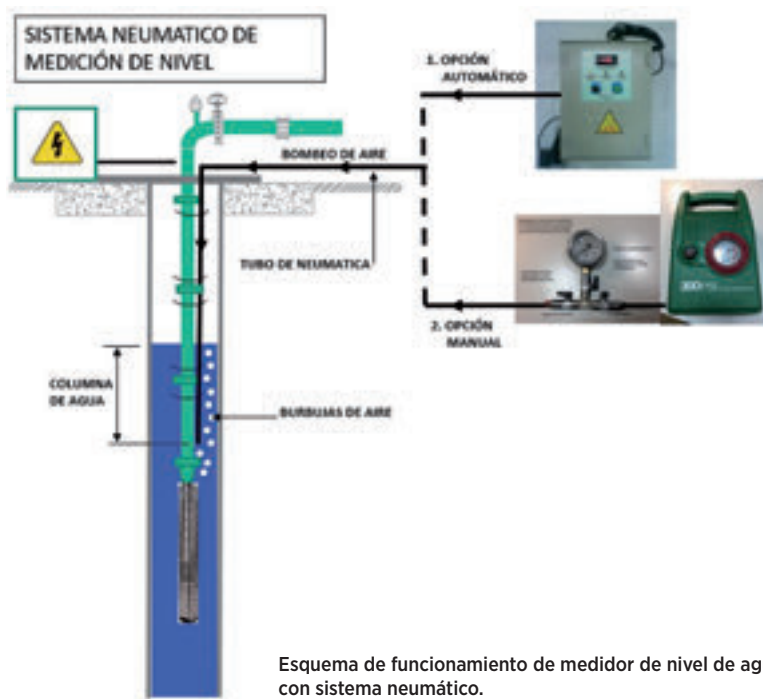
Es evidente que lo que medimos es la columna de agua que hay por encima de la bomba, para conocer el nivel de agua desde la boca del pozo es necesario conocer los metros de tubería que se han montado y efectuar una resta. Estos equipos disponen de salida 4-20 mA para si se desea telemandar la señal. Asimismo, podemos fijar el paro de la bomba por nivel mínimo, muy útil en pozos donde se puede dar esa circunstancia.

Cuando no se disponga del medidor de nivel neumático podemos medir con un compresor de aire de los usados para las ruedas del coche y un manómetro. La precisión de este sistema depende de la escala del manómetro empleado.

Cuando se desea una precisión milimétrica y constante (por ejemplo, en un aforo), existen aparatos en los que el burbujeo de aire se produce de forma continua:

Es la evolución natural del sistema que, siendo muy antiguo, solo en los últimos años ha conseguido situarse como una muy buena opción para la medida de nivel de agua en pozos.

Para más información:
www.juanazcue.com
www.watex.es
www.guiaelectrobombas.com



Esquema de funcionamiento de medidor de nivel de agua con sistema neumático.



Medidor de nivel neumático. Distribuidor: JUAN AZCUE S.A.

Riego digitalizado. Sensores de humedad de suelo

Rosa M. Rodríguez González. Ingeniero Agrónomo, directora de Efi-Riego. Consultoría Agrícola





FIGURA1. Imagen de un registrador de datos (datalogger) y un pluviómetro instalado en uno de los demostradores utilizados en el proyecto EFFIREM. En la página anterior, un sensor de humedad de suelo, en el momento de su instalación, antes de taparlo para devolver el terreno a su estado inicial.

Conocer CUÁNTO, CUÁNDO y CÓMO regar es una necesidad de todo profesional relacionado con el riego. Actualmente las nuevas tecnologías nos aportan herramientas que nos permiten dar respuesta a estas cuestiones.

La disponibilidad de secuencias temporales de imágenes de satélite permite responder a la pregunta de CUÁNTO regar. Es posible conocer el índice de vegetación de cada pixel (10x10 m) de la parcela. Como éste está linealmente relacionado con el coeficiente de cultivo (K_c), se puede aplicar la metodología FAO 56 (Allen et al., 1998) para el cálculo de necesidades hídricas de cualquier cultivo, pero con información real, periódica y en detalle sobre la evolución de la cubierta vegetal de cada unidad de riego.

La digitalización del riego mediante sensores de humedad de suelo de tipo capacitivo permite dar respuesta a las otras dos preguntas: CUÁNDO y CÓMO regar, de forma que se aproveche al máximo el agua utilizada y aporta una herramienta para demostrar el uso sostenible realizado. A lo largo de este artículo se ex-

plica en qué consiste esta tecnología y la forma en que la consultoría agrícola, Efi-Riego, la utiliza en sus asesoramientos desde 2013. Esta metodología se ha utilizado dentro del proyecto EFFIREM, cuyo objetivo es la reducción del consumo de agua en agricultura y el uso eficiente de la energía.

MONITORIZACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO

En el marco del proyecto EFFIREM se han instalado equipos de monitorización de la humedad del suelo para registrar en continuo la evolución del agua disponible para la planta (ADP) en tres parcelas de los demostradores. Cada equipo de monitorización (Figura 2) ha estado formado por un registrador de datos con comunicación vía GPRS, un pluviómetro y tres sondas de humedad de suelo de tipo capacitivo instaladas a tres profundidades (15, 30 y 40 cm). Las sondas instaladas a 15 y 30 cm de profundidad registran la zona de mayor actividad radicular y la situada a 40 cm de profundidad se utiliza para intentar que los riegos no eleven la humedad hasta ese nivel. Aunque muchos cultivos en teoría son capaces de extraer agua de 40 cm de profundidad, en la práctica se observa que, en la mayoría de los casos, no lo hacen, bien por encontrarse en óptimas condiciones de riego, o bien porque las características del suelo les dificulta mucho su extracción.

Esto permite programar el riego de manera que el agua humedezca la zona radicular, sin alcanzar zonas más profundas, lo que va a permitir ahorrar agua, ahorrar en costes energéticos asociados al riego y evitar la contaminación por lixiviados. En resumen, se trata de aportar el agua necesaria para que ésta profundice sólo hasta donde más se necesita, evitando excesos.

Para obtener la información adecuada para el manejo del riego, es importante la elección de la ubicación de los sensores. Se debe elegir un punto representativo, es decir, cuyas características sean las que predominen en el sector de riego. Para hacer esta elección, hay que basar-

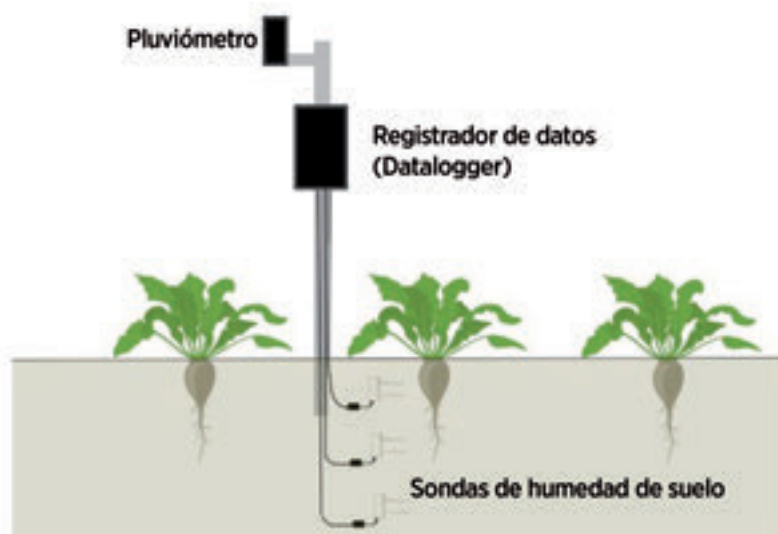


FIGURA 2. Esquema de un punto de control de humedad del suelo, formado por 3 sondas de humedad de suelo, un registrador de datos que envía la información vía GPRS y un pluviómetro para detectar los aportes de agua (riego o lluvia). Los dos sensores más superficiales aportan información de la zona de mayor actividad radicular. El tercer sensor, colocado a mayor profundidad, mide el contenido de humedad fuera de la zona de mayor influencia de las raíces.

TABLA 1. Valores representativos de las propiedades físicas del suelo según texturas (Schwab, 1996).

se principalmente en el conocimiento de la parcela del propio agricultor, en la observación visual, y de forma más precisa, esta decisión se puede apoyar en tecnologías como las imágenes de satélite, obteniendo un mapa de zonas de la parcela.

A la hora de realizar la instalación en campo, hay que conseguir que los sensores estén en íntimo contacto con el suelo, evitando que queden bolsas de aire y que entren en contacto con piedras, tratando de alterar lo menos posible el terreno.

Tras realizar la instalación de los sensores, el manejo del riego se debe realizar de la forma habitual. Generalmente, después de uno o dos riegos, se pueden establecer los valores de referencia necesarios para determinar el porcentaje de agua disponible para la planta en cada momento.

METODOLOGÍA

Las sondas de humedad de tipo capacitivo estiman la humedad a través de una propiedad física, denominada permitividad compuesta del suelo (ϵ), que engloba las tres fases de éste (agua, aire y sólidos). Debido a que el valor de la permitividad del agua (80) es muy superior a la del aire (1) y a la de los sólidos (2-5), pequeñas variaciones de la humedad provocan cambios importantes en el valor de esta propiedad, lo que permite estimar el contenido volumétrico de agua en el suelo. En concreto, las sondas TERSO10 (utilizadas en los demostradores) utilizan un campo electromagnético para medir la permitividad compuesta del medio circundante. El sensor suministra una onda oscilante de 70 MHz a las agujas del sensor, que se cargan según el dieléctrico del material que las rodea. El tiempo de carga es proporcional al dieléctrico y al contenido de humedad del suelo. Posteriormente, el valor bruto obtenido se convierte en contenido volumétrico de agua (CVA) mediante una ecuación de calibración.

El contenido volumétrico de agua (CVA) se expresa como la relación entre el volumen de agua y el volumen total del suelo (cm^3 de agua/ cm^3 de suelo). Existen diversos trabajos que aportan valores representativos de las propiedades físicas del suelo según su textura, como el mostrado en la Tabla 1, donde se observa que un determinado valor de contenido volumétrico de agua (p.e. $0,21 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) puede referirse a un suelo a capacidad de campo si su textura es fran-

TEXTURA	POROSIDAD (%)	DENSIDAD APARENTE (G/CM ³)	CAPACIDAD DE CAMPO (CM ³ /CM ³)	PUNTO DE MARCHITEZ (CM ³ /CM ³)
Arenosa	32-42	1,65	0,15	0,08
Franco-arenosa	40-47	1,50	0,21	0,12
Franca	43-49	1,40	0,31	0,17
Franco-arcillosa	47-51	1,35	0,36	0,18
Limo-arcillosa	49-53	1,30	0,40	0,20
Arcillosa	51-55	1,25	0,44	0,21

co-arenosa o un suelo en punto de marchitez, si es de textura arcillosa. Por este motivo, dado que se han colocado sondas a tres profundidades, y que normalmente existe variación de la textura y otras propiedades de los suelos a las distintas profundidades, se transforman los valores de contenido volumétrico de agua a valores de agua disponible para la planta (ADP). Para ello, se observa la evolución del contenido volumétrico de agua con los primeros riegos, se establece para cada profundidad el valor de contenido volumétrico de agua a capacidad de campo, y por combinación de datos bibliográficos y observación se estima también el contenido volumétrico de agua en punto de marchitez, para finalmente, estimar el porcentaje de ADP que contiene el suelo en cada momento, y para cada profundidad, según la Ec. 1.

$$\% ADP = \frac{\theta - \theta_{PM}}{\theta_{CC} - \theta_{PM}} \cdot 100$$

Donde,

θ , es el contenido volumétrico de agua del suelo en un momento determinado (m^3/m^3).

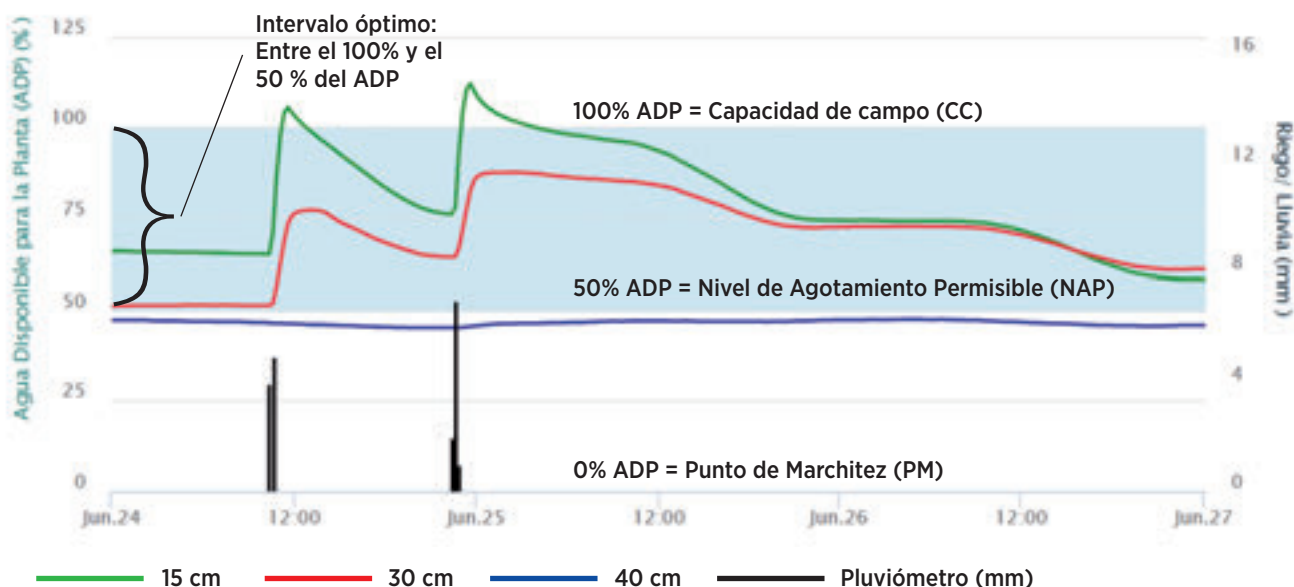
θ_{PM} , es el contenido volumétrico de agua del suelo en el punto de marchitez (m^3/m^3).

θ_{CC} , es el contenido volumétrico de agua del suelo a capacidad de campo (m^3/m^3).

FIGURA 3. Gráfica de agua disponible para la planta (ADP)

Dado que el Punto de Marchitez es el contenido de humedad al que la planta ya no es capaz de extraer más agua, mucho antes de alcanzar este punto, la planta ya está sufriendo estrés hídrico. Por ello, para que el cultivo se desarrolle en las condiciones óptimas, se establece un Nivel de Agotamiento Permisible (NAP), que corresponderá al porcentaje de ADP que se permitirá que se agote del suelo, en este caso, el 50% del ADP. El nivel de humedad comprendido entre el NAP y capacidad de campo es el intervalo óptimo de humedad del suelo (Figura 3).

La gráfica de la Figura 4 se ha enviado el día 2 de septiembre de 2022 al agricultor de uno de los demostradores. Cada agricultor recibe a diario una gráfica similar, que abarca un periodo de 7 días. Como la información se recibe a diario, en realidad cada día el agricultor se va a fijar principalmente en la parte derecha de la gráfica, donde aparece la información de los datos registrados en las últimas 24 horas. Esto permite conocer a diario (incluso varias veces al día si así se quisiera) el nivel de agua disponible para la planta (ADP) que presenta el suelo, así como el efecto producido por cada aporte de agua realizado, de forma que se puedan tomar decisiones sobre la idoneidad de mantener la dosis de riego, aumentarla o reducirla, así como el momento más adecuado para dar el siguiente riego.



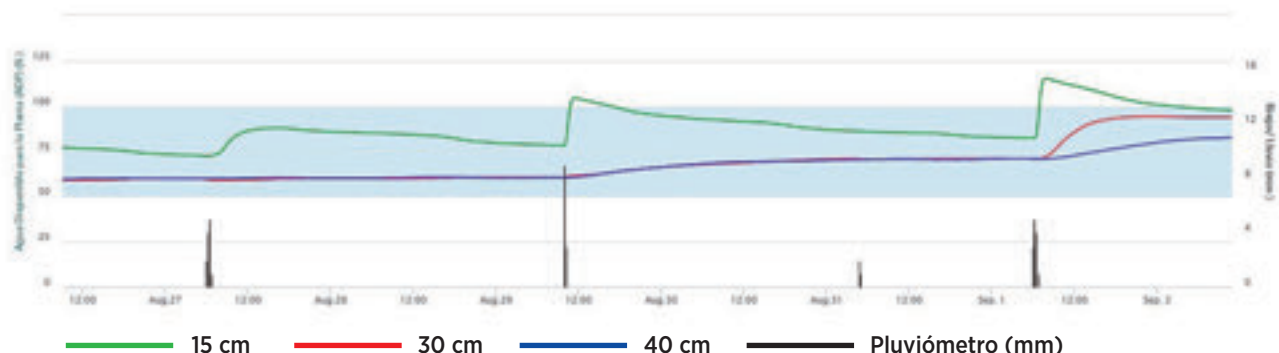


FIGURA 4. Gráfica de seguimiento de la evolución del suelo del día 2 de septiembre enviada al agricultor de uno de los demostradores. En la gráfica se muestra la aportación de 3 riegos que elevan la humedad a 15 cm de profundidad sin apenas elevar la humedad del suelo a 40 cm, de forma que en esta semana no se produjeron pérdidas por percolación.

A continuación, se indican algunos de los efectos que pueden ser detectados con los sensores de humedad de suelo y la acciones que se pueden tomar al respecto (figura 5):

- Si la línea que representa el sensor de 15 cm de profundidad (línea verde) se acerca a la zona inferior marcada como intervalo óptimo (50% del ADP) es necesario REGAR.
- Si la línea que representa el sensor de 15 cm de profundidad (línea verde) está próxima a la zona superior marcada como intervalo óptimo (100% del ADP) no se debe REGAR.
- Si los riegos hacen aumentar la línea que representa al sensor de 40 cm de profundidad (línea azul) conviene reducir la duración de los riegos (es decir, reducir la dosis aportada en un riego).
- Si entre dos riegos consecutivos, el ADP a 15 cm baja del intervalo óptimo, convendría disminuir el intervalo entre riegos.

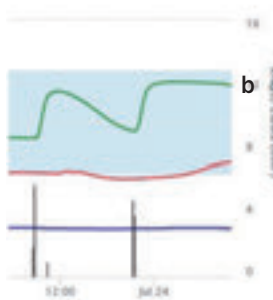
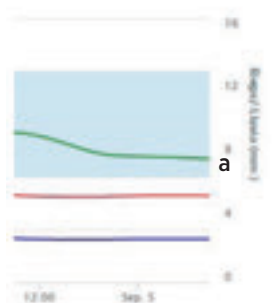
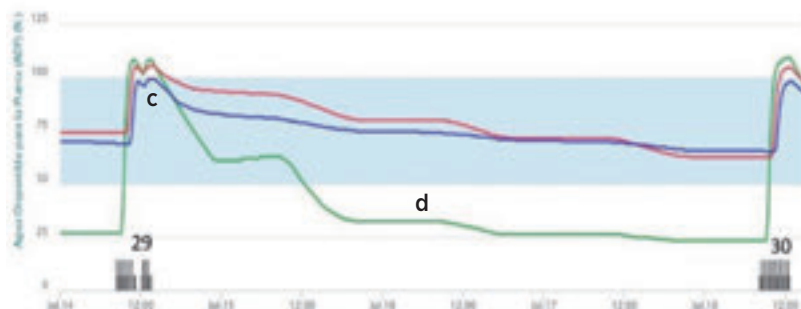


FIGURA 5. Figura 5. Algunas decisiones que se pueden adoptar a partir de la información aportada por los sensores de humedad de suelo: a) REGAR, b) NO REGAR, c) Reducir la dosis de riego, d) Disminuir el intervalo entre riegos.



REFERENCIAS

Allen, R., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. In Irrigation and Drainage Paper No. 56 (FAO, Issue 56). FAO.

Schwab, G.O., Fangmeier D.D. y Elliot, W.J., 1996. Soil and Water Management Systems. New York: John Wiley & Sons.

Eficiencia del riego mediante el servicio Irrimaps® de la empresa Agrisat Iberia basado en datos de satélite y predicciones meteorológicas en el marco del proyecto Effirem

Julio Villodre Carrilero. Dr. en ciencias agrarias y ambientales. Servicio agronómico de agrisat iberia, S. L.



Agrisat Iberia (<https://agrisat.es/>) participa en el proyecto EFFIREM (<https://effirem.org/>) coordinado por AIMCRA, proporcionando estimaciones de necesidades hídricas de los cultivos con una semana de antelación a través de su servicio IRRIMAPS® (<https://irrimaps.com/>).

La metodología de AgriSat se basa en determinar las necesidades hídricas netas de los cultivos o evapotranspiración (ET) mediante la metodología descrita en el manual FAO 56 (Allen et al., 1998), denominada de “dos pasos” a partir de la determinación del coeficiente de cultivo (Kc) y la demanda evaporativa de la

atmósfera o evapotranspiración de referencia (ET_o), ecuación 1. Esta metodología está validada y es ampliamente utilizada para la estimación de las necesidades de agua de la cubierta vegetal (Calera, et al 2016)

$$ET = K_c \cdot ET_o \text{ (Ecuación 1)}$$

A diferencia de la metodología clásica en la que se obtiene el K_c a partir del estado fenológico en el que se encuentra el cultivo, el servicio IRRIMAPS® de AgriSat determina el K_c a partir de la reflectividad espectral de la cubierta por medio de imágenes de satélite. La aproximación más común para estimar esta reflectividad de la cubierta es por medio de índices de vegetación, siendo el más utilizado el NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada). Las relaciones entre K_c-NDVI están ampliamente validadas en múltiples cultivos y cubiertas vegetales desde sus inicios en los años 80 del pasado siglo (Villodre Carrilero, 2019).

El uso del satélite permite adaptar el K_c a las condiciones reales de desarrollo de la vegetación y su dinámica temporal. De esta forma se puede realizar una determinación precisa de las necesidades hídricas del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento, ya que es habitual que las plantas, a pesar de tener una fenología

similar, presenten una biomasa distinta y, por tanto, requieran unas necesidades hídricas diferentes, véase figura 1. De esta forma el servicio IRRIMAPS® de AgriSat calcula de forma operativa las necesidades hídricas en el tiempo y el espacio, ajustándolas a la mínima unidad de manejo hídrico. Esto permite aplicar un riego variable adaptándose al desarrollo del cultivo en cada zona de la parcela. Como ejemplo de esta aplicación ya se está aplicando de forma operativa el riego variable durante todo el periodo de crecimiento y desarrollo del cultivo en pivots gracias al fruto de un trabajo conjunto entre AgriSat y ACOEMAN (<http://www.acoeman.com/>). En los pivots se divide la superficie regable hasta en 36 sectores de 10° cada uno, gracias a la instalación de un equipo auxiliar automática (Sico-P) que permite variar y ajustar el caudal de agua en cada sector virtual de riego en cualquier pivot (Calera et al. 2020), véase figura 2.

Como se ha comentado anteriormente, las estimaciones de necesidades hídricas del servicio IRRIMAPS® se hacen a futuro con una semana de antelación. Para ello, la ET_o prevista para la próxima semana es obtenida a partir de diversas fuentes y servicios de predicción meteorológica, tanto nacionales como internacionales. La estimación del K_c previsto se reali-

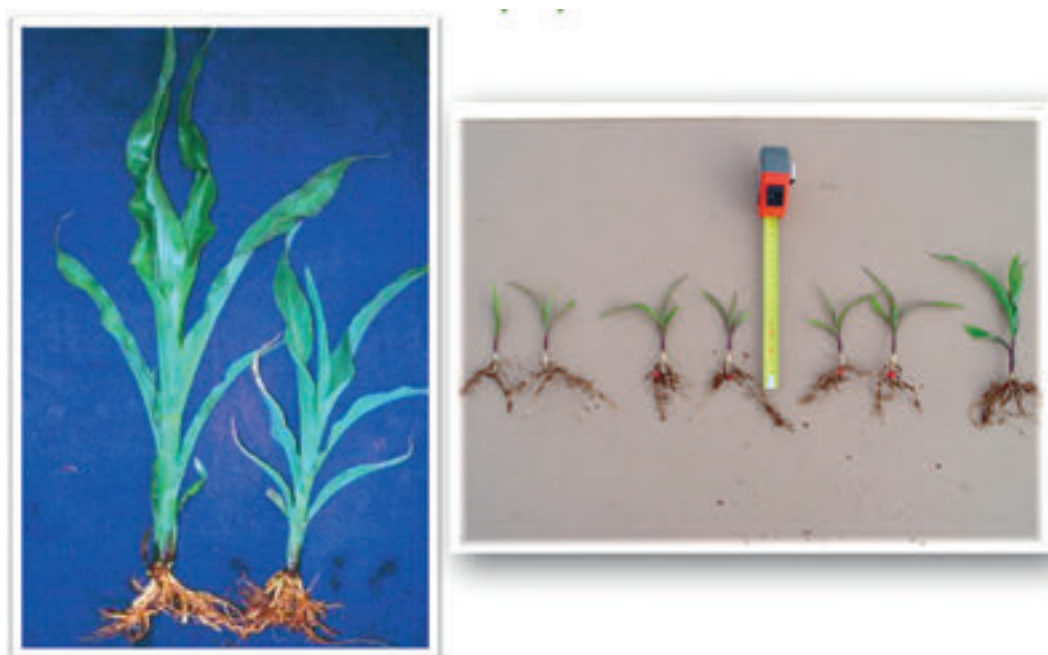


Figura 1. Ejemplo de cultivo en el mismo estado fenológico, pero con una biomasa muy diferente y, por tanto, con unas necesidades hídricas distintas. Estas diferencias son captadas por el satélite, lo que permite una mejor determinación de las necesidades hídricas de los cultivos en relación con la metodología clásica basada únicamente en la fenología.

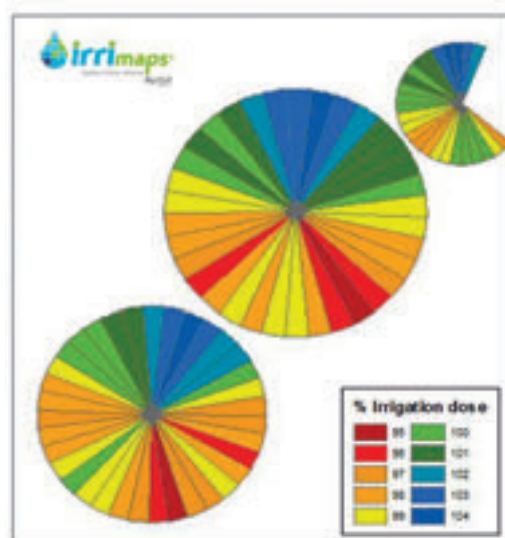
Figura 2. Izquierda, ejemplo de informe del servicio Irrimaps enviado al usuario cada semana a lo largo del ciclo de crecimiento y desarrollo de los cultivos de la explotación. El rotulo numérico dentro de cada parcela indica las necesidades hídricas netas de los cultivos para los próximos 7 días. Derecha, ejemplo real de aplicación de riego variable en varios pivots mediante la metodología de IRRIMAPS® (AgriSat) y la tecnología SicoP de la compañía ACOEMAN.

za a partir de la extrapolación del NDVI partiendo de la última imagen de satélite disponible de la parcela y la evolución temporal de NDVI obtenida de anteriores imágenes que describen el crecimiento y desarrollo del cultivo hasta ese momento. Con el fin de facilitar su uso, las estimaciones de necesidades hídricas se representan en un informe en formato de mapa, en el que figuran todas las parcelas que componen la explotación adoptando diferentes colores en función del cultivo sembrado o plantado. Dentro de cada parcela se indican las necesidades hídricas netas del cultivo para la próxima semana. De forma opcional, también se indica la desviación de las necesidades de la semana anterior, una vez se conoce el valor real observado de la ETo y el NDVI, véase figura 2. El informe se envía de forma personalizada mediante correo electrónico o whatsapp, según las preferencias del usuario final.

Los satélites más ampliamente utilizados en el servicio IRRIMAPS® son los de la constelación Sentinel 2 (A y B) perteneciente al programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA). La frecuencia mínima de obtención de imágenes es de 5 días, lo que se asegura tener una imagen semanal disponible de la parcela. Su resolución espacial es de 10 metros (tamaño de píxel), lo que permite realizar el seguimiento continuo de parcelas mayores a 0,1 ha.

En los periodos con una alta presencia de nubes que impiden obtener una imagen adecuada de la parcela se recurre a los satélites Landsat 8 y 9 de la NASA. La sincronía de paso de estos satélites proporciona una frecuencia de imágenes de 7 días y presentan una resolución espacial de 30x30 metros.

Además de las estimaciones de necesidades hídricas, el empleo del satélite también permite detectar problemas en los cultivos como una mala distribución del agua de riego por fallos en el propio sistema de riego, ataques de plagas o enfermedades, problemas de siembra o de aplicación de insumos, etc., cuya consecuencia puede ser un desarrollo diferente del cultivo en las distintas zonas de las parcelas. Gracias a este servicio personalizado, estas observaciones o recomendaciones son incluidas en el informe para su comprobación y determinación de posibles causas por parte del usuario mediante la necesaria visita de campo, véase Figura 3.



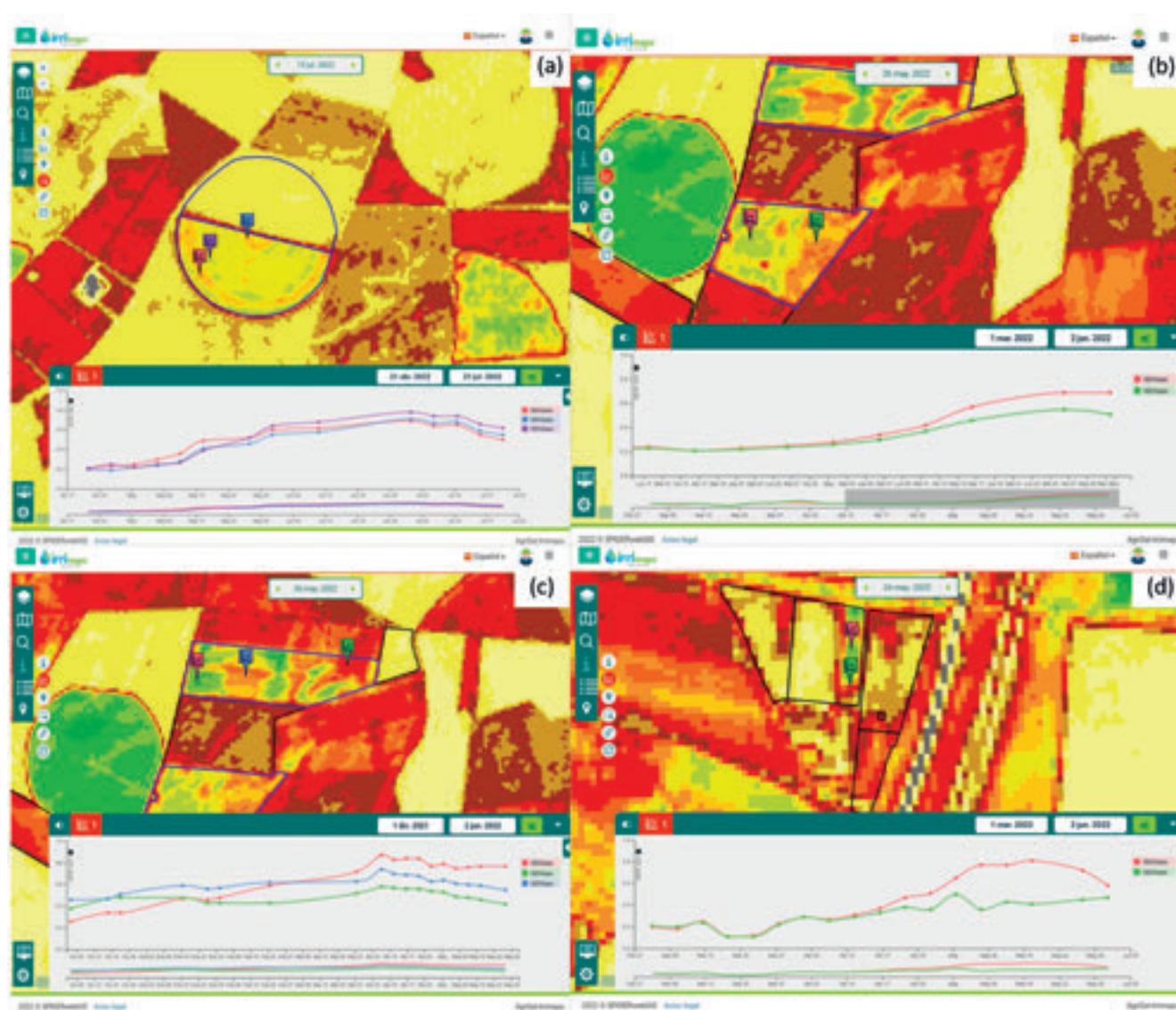


Figura 3. En la figura se muestran algunas de las incidencias observadas durante la campaña de 2022. (a) en la imagen NDVI del 15 de julio y en fechas posteriores se aprecia algún problema de homogeneidad en el riego en algunos sectores del pivó a lo largo de todo el ciclo del cultivo (marcas roja y azul), posiblemente por una menor cantidad de agua aportada por alteración de la carta de riego deducido por el patrón circular del NDVI en estas zonas. (b) y (c) se aprecia un diferente desarrollo de los cultivos (remolacha y trigo, respectivamente) en el desarrollo del cultivo (marcas roja, verde y azul). (d) La serie temporal del NDVI en la marca roja a lo largo del ciclo de cultivo permite estimar la fase de maduración del grano y, por tanto, el final del periodo de riego. Además, también se observa que hay zonas en la parcela en las que la serie temporal del NDVI alcanza valores mucho más bajos a lo largo de todo el ciclo del cultivo, lo que supone un menor rendimiento del cultivo en estas zonas.

BIBLIOGRAFÍA

Allen, R., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. In *Irrigation and Drainage Paper No. 56* (FAO, Issue 56). FAO.

Calera, A., Campos, I., Garrido, J., Bodas, V. (2016). Manejo del agua en cultivos mediante teledetección: determinación de las necesidades de agua y de riego.

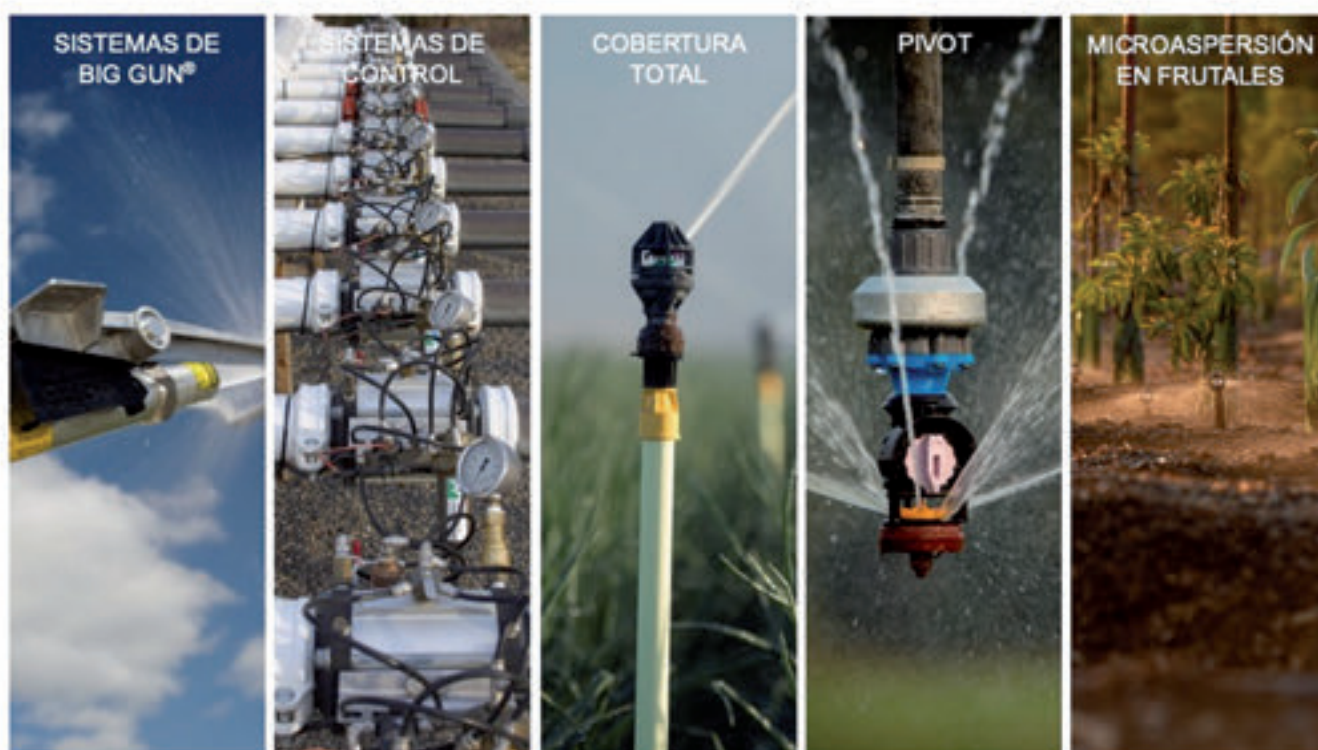
Calera, M., Plaza, C., Cuesta, A., Bodas, V., Molina, R., Osann, A., Calera, A. (2020) Estimation of crop water requirements by remote sensing for variable rate applications. operational case in a central pivot of wheat. EGU General Assembly. [https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2020EGUGA..222463C/doi:10.5194/egusphere-egu2020-22463](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2020EGUGA..222463C/ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2020EGUGA..222463C/doi:10.5194/egusphere-egu2020-22463)

Villodre Carrilero, J. (2019). Estimación de la evapotranspiración y el estrés hídrico en la dehesa a alta resolución temporal y espacial mediante teledetección [Tesis Doctoral, Universidad de Castilla-La Mancha]. <http://hdl.handle.net/10578/22271>



Emisores de baja presión

Helena Cuartero Nelson Irrigation Corporation, España



Nelson Irrigation Corporation es una empresa familiar, ubicada en Walla Walla, Washington (USA), con 50 años de historia y tres generaciones de la familia Nelson trabajando en la actualidad en el negocio. Todos los productos de Nelson se fabrican en Walla Walla.

Además en Europa, Nelson cuenta con un almacén para dar servicio principalmente a Europa. Y en todo el mundo, con un equipo de personas altamente cualificadas, y que comparten con Nelson la pasión por el riego y el trabajo bien hecho.

Desde que en 2021 se inicia el Proyecto EFFIREM, Nelson ha participado como colaborador en los tres demostradores del proyecto suministrando los emisores de baja presión tanto para pivot como para cobertura total, aportando también soporte técnico a los técnicos y agricultores que han participado en el proyecto, herramientas de software para el cálculo de cartas de riego y estudios de aplicación de agua, y toda nuestra experiencia en España y en el mundo.

Analizamos a continuación el trabajo realizado en cada uno de los demostradores.

DEMOSTRADOR DE SALAMANCA

La colaboración de Nelson ha consistido en el suministro de emisores de baja presión para la carta del riego del pivot y los aspersores de cobertura total. La empresa encargada de instalar el material ha sido Riegos del Tormes, distribuidor de productos Nelson en la zona de Salamanca.

En este primer demostrador, el agricultor necesitaba resolver otro problema a parte del coste energético, que es un grave problema de escorrentía en la parcela del pivot que el agricultor viene sufriendo durante los últimos años.

Ante un problema de escorrentía, la recomendación de Nelson es reducir, siempre que sea posible, el caudal en el pivot y ampliar la superficie mojada por el aspersor, para conseguir así reducir la pluviometría instantánea del sistema.

Por tanto, se ha propuesto al agricultor la siguiente solución:

Instalar aspersores ROTATOR® R3030

Instalar aspersores ROTATOR® R3030 Plato Oliva, con reguladores de presión de 10 psi (0,7 bar). La presión de trabajo de este aspersor es de 0,7 bar a 1 bar y el diámetro de 15,2 a 22,6 m. Se ha elegido la mínima presión de trabajo del aspersor para conseguir el mayor ahorro energético.

La tecnología Rotator® hace posible que los aspersores tengan el mayor radio de alcance. No existe ningún otro aspersor en el mercado con el radio de alcance y la uniformidad en la distribución de agua que tiene un Rotator®. El Rotator® va a mejorar enormemente la uniformidad debido a un mayor solape con los aspersores adyacentes.



Ante un problema de escorrentía, el agricultor siempre debe elegir el aspersor con el mayor radio de alcance, ampliando así la superficie mojada y reduciendo la pluviometría instantánea, que va a ser la principal causante de los problemas de escorrentía.



Instalación de Rotator® en los bajantes del pivot del demostrador, por fuera de los tirantes.

Instalar los bajantes por fuera de los tirantes del pivot

Teniendo en cuenta la escorrentía, se le propone también al agricultor instalar los bajantes por fuera de los tirantes del pivot, con lo que se consigue aumentar todavía más la superficie mojada por el aspersor y seguir reduciendo los posibles problemas de escorrentía.

Disponer de una doble carta de riego

Se le propone también disponer de una doble carta de riego, una para germinación y otra para riego.

Esta propuesta tiene mucho que ver con los problemas de escorrentía, ya que el problema de la escorrentía se va a originar cuando regamos con pluviometrías instantáneas altas sobre suelo desnudo, que es cuando aportamos agua al cultivo en el momento de la germinación.

Se propone que el pivot disponga de dos cartas de riego, una de germinación que se dimensiona con un 30% menos de caudal que la de riego, y una segunda carta para el riego, que se pondrá en funcionamiento una vez que se haya producido la germinación y el suelo empieza a tener cobertura vegetal.

La instalación de una doble carta de riego consiste en la incorporación de un "clip" al aspersor, en el que estarán insertadas las dos boquillas que se usarán en la misma salida, en un lado la boquilla de la carta de germinación, y en el otro, la de riego. El manejo de la doble carta es muy sencillo con la boquilla 3NV de Nelson, ya que permite el cambio de boquilla de forma rápida, sencilla y, sobre todo, sin desmontar el aspersor. El uso del "clip" de la doble carta se muestra a continuación:

Instalar un R55VT al final del pivot

La siguiente propuesta en este primer demostrador ha sido instalar un R55VT al final del pivot, en lugar de una cañón de riego. Ningún otro aspersor de final de



En esta tabla se muestran las funciones de la boquilla 3NV de Nelson: **INSTALL**: Posición para insertar la boquilla; **ON**: Posición en la que el aspersor está abierto; **OFF**: El aspersor está cerrado. Permite también revisar si la boquilla está sucia/obstruida; **NOZZLE FLUSH**: Limpieza de la boquilla; **LINE FLUSH**: Posición que permite limpiar la suciedad existente en el bajante, proveniente de la tubería.

pivot en el mercado funciona en el rango de baja presión de entre 1 y 4 bar y proporciona hasta 4 hectáreas adicionales de riego.

La presión de diseño para el cálculo de la carta de riego del pivot ha sido de 1,2 bar, un poco por encima de la presión necesaria para el funcionamiento del R55VT. Se diseña con 1,2 bar para prevenir posibles variaciones de presión durante el riego en la explotación, ya que hay que tener en cuenta que si la presión baja de 1 bar, el aspersor no funcionará correctamente.

Todas las cartas de riego se calculan con el software SPRINKLERCHART.COM desarrollado por Nelson Irrigation y que asegura diseños con uniformidades en la distribución de agua superiores al 90%.



En la imagen de la izquierda se muestra la boquilla 3NV de Nelson, y a la derecha el clip doble boquilla que se ha instalado en el demostrador.

Instalar el aspersor R2000FX

En cuanto a la cobertura total, se propone instalar el aspersor R2000FX, el nuevo aspersor de baja presión de Nelson. Manteniendo el marco tradicional de la explotación de 12 m x 15 m en el cultivo de la remolacha.

El nuevo aspersor de Nelson R2000FX trabaja de 1,5 a 2,5 bar, tiene un radio de alcance de hasta 12 m, y es además auto-compensante, es decir, garantiza el mismo caudal en cada aspersor.

El aspersor instalado en el demostrador es de 568 l/h, y por tanto la pluviometría del sistema de 3,15 mm/h. Esta pluviometría es adecuada para todos los tipos de suelos y además va a permitir al agricultor un mayor control de la humedad en el suelo.



Visita de Nelson al demostrador de Salamanca.



En los test de uniformidad que AIMCRA ha realizado al aspersor se han obtenido valores de UD del 87% a 12 m x 15 m, 1,7 bar de presión.

Trabajar en una cobertura total a una presión de 1,7 bar, supone trabajar entorno a 2,0 bar por debajo de las presiones de trabajo tradicionales en una cobertura total en la zona, y por tanto un ahorro energético superior al 50%.

Como el aspersor propuesto tiene también un caudal inferior al de los aspersores tradicionales, va a permitir diseñar sectores de mayor superficie en la explotación, y por tanto se va a reducir el número de sectores totales y de válvulas que será necesario abrir y cerrar para el riego, reduciéndose también la mano de obra necesaria. Y si finalmente se automatiza el riego, se reducirá la inversión en automatización de válvulas y automatismos, ya que esta inversión es directamente proporcional al número de sectores.

DEMOSTRADOR DE VALLADOLID

La colaboración de Nelson ha consistido en el suministro de los productos de la carta del riego del pivot. La empresa encargada de instalar el material ha sido Irconsa, distribuidor de productos Nelson en la zona de Valladolid.

Con el fin de dar a conocer a través del Proyecto EFFIREM, el mayor número de soluciones de baja presión de Nelson en pivot, el aspersor que se ha suministrado ha sido el Accelerator A3030 con plato dorado y reguladores de presión de 10 psi (0,7 bar).

El Accelerator es un aspersor híbrido que utiliza la tecnología del Rotator® y el Spinner. El Accelerator aumenta la velocidad de rotación a medida que aumenta el tamaño de la boquilla. Esto maximiza el radio y minimiza las pérdidas por evaporación a un caudal bajo. En el extremo del sistema se transforma en un Spinner para reducir la pluviometría instantánea mientras trata el suelo correctamente.

El Accelerator es un aspersor capaz de trabajar de 0,4 bar a 1 bar y con un diámetro de 5,1 a 9 m.

Con el fin de reducir al máximo el consumo energético, se ha eliminado el cañón de riego al final del pivot y se ha propuesto instalar un aspersor sectorial, en este caso un Spray sectorial, que puede trabajar desde 0,4 bar y hasta 1,4 bar, con un radio de alcance de hasta 5,8 m.

La presión de diseño, para el cálculo de la carta de riego, ha sido de 0,7 bar en el aspersor sectorial al final del pivot.

DEMOSTRADOR DE SEVILLA

La colaboración de Nelson ha consistido en el suministro de los aspersores de la cobertura total. La empresa encargada de instalar el material ha sido Irriplant, distribuidor de productos Nelson en la zona de Sevilla.

El aspersor de baja presión que se ha instalado sido también el R2000FX, mencionado ya anteriormente.

En esta ocasión, el marco de riego ha sido de 12 m x 12 m, que es el marco tradicional en la explotación debido principalmente al fuerte viento predominante en la parcela de remolacha.

Para terminar, nos gustaría hacer hincapié en que la elección de emisores de baja presión es determinante si lo que se pretende es reducir el coste energético de la instalación, ya que a través del Proyecto EFFIREM ha quedado demostrado que se puede reducir el consumo de energía en más de un 50%. Aunque como hemos intentado destacar también en la elaboración de este artículo, en la elección del emisor también es importante tener en cuenta otros factores fundamentales para el desarrollo del cultivo, como han sido la eliminación de los problemas de escorrentía y el viento.

Los emisores de baja presión no solo son capaces de ahorrar energía y reducir de forma significativa los gastos de producción, también van a ser determinantes en el desarrollo y productividad del cultivo, factores fundamentales que contribuyen a rentabilidad de la explotación y del agricultor.

Automatización de riego

Antonio Quijano
Dr. Ingeniero Agrónomo

ANTECEDENTES

Antiguamente y en la actualidad en muchos sitios, el riego se realizaba por inundación y se intentaba organizar de modo que se hacían sectores (tablares) que se podían inundar según el caudal disponible, de forma que el agua permanecía en el terreno el tiempo suficiente para llevar a capacidad de campo (máxima cantidad de agua que puede retener) la zona radicular del cultivo en cuestión. Cuando el caudal disponible era más bajo o según cultivos, se realizaba el riego por caballones o surcos, de tal forma que se hacía circular el agua por surcos durante el tiempo necesario para alcanzar la humedad deseada.

Con el tiempo aparecieron las tuberías, el riego por aspersión y el localizado de alta frecuencia, con lo que el riego pasó a ser de mayor precisión y más fácilmente automatizable. El hecho de tener el agua canalizada por tubería, con unas condiciones de filtrado adecuadas y poder gestionar mejor las aperturas y cierres mediante válvulas, permitió introducir los automatismos y desligar el riego de las labores rutinarias presenciales del agricultor.

Es posible la automatización de los riegos por gravedad, mediante válvulas de corte y tiempos de inundación, para lo cual es necesario que la nivelación de la parcela sea adecuada y que los surcos estén perfectamente mantenidos, de tal modo que la evolución de la inundación transcurra de un modo predecible y programado.

En el caso de los riegos por aspersión y por goteo, se preparan los sectores de riego según disponibilidad de caudal y presión, gestionando estos parámetros mediante válvulas de corte y regulación. Antes de existir la automatización y aún hoy día en muchos sitios, el reparto del agua se hace de forma manual, teniendo como limitación las características de la bomba/balsa y/o la sección-presión en la acometida de los sectores. Una vez dimensionadas las tuberías generales, las terciarias y los ramales porta emisores, se ha de hacer el reparto de agua por sectores, haciendo los cambios de modo manual dirigiendo el agua a los emisores

de cada sector, tantas veces como ciclos de riego tengamos en la campaña. En riegos por goteo suele ser habitual unificar las válvulas de corte en un punto y extender más metros de tubería (por tener esta menor sección y precio), para evitar los desplazamientos entre válvulas. En el caso de riego por aspersión, los diámetros de tubería son mayores y también su precio, por lo que las válvulas de corte se suelen colocar al principio del sector y/o en cada ramal portaaspersores, según configuración. Esto obliga al usuario a desplazarse entre las válvula de corte, para configurar los sectores, originando auténticas veredas entre el cultivo de la gran cantidad de tránsitos que ha de realizar en una campaña de riego.

Si consideramos una unidad de cultivo de 5 hectáreas que tenga tres posturas, habrá que ir a cambiar, al menos, 3 veces por semana, por 20 semanas de riego = 60 veces, si la distancia es de 5 kilómetros, serán 600 kilómetros recorridos (ida y vuelta), si la velocidad media es de 40 km/hora, se dedicarán 15 horas por campaña en desplazamientos, si cada cambio son 20 minutos de manipular las válvulas de corte, tendremos 60 cambios*20 minutos = 1.200 minutos/60 min/hora = 20 horas. Luego en tiempo tendremos casi una semana laboral de 35 horas * 10 €/hora = 350 €. Si el kilómetro lo valoramos a 0.30€/km * 600 km = 180€. Esto hace un total de 530€ por unidad de cultivo = 106 €/hectárea.

ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN

El primer elemento necesario para la automatización es la válvula hidráulica. En la década de 1930 se tenían las válvulas de corte manuales y en un intento de ganar en precisión y automatización de los procesos, se inventó la válvula de control automatizada que enviaban señales neumáticas a las válvulas y ajustaban su posición sin necesidad de intervención humana. Hoy día se fabrican también de materiales plásticos, para poder enterrarlas sin que sufran oxidación.

Su funcionamiento está basado en una membrana y una cámara que se llena utilizando la presión del flujo y detiene el agua al cerrar con la membrana la sección de paso. Al vaciar la cámara, el agua vuelve a circular a través de la válvula.

El circuito de llenado y vaciado de la cámara se puede automatizar, por medio de las denominadas electroválvulas (solenoides).

Estas electroválvulas transforman una señal eléctrica en hidráulica, de modo que pueden redirigir el flujo del agua en una u otra dirección, comandando válvulas hidráulicas (abriendo o cerrando). La señal eléctrica actúa sobre una bobina, que induce un imán o un motor eléctrico y modifica el flujo del agua.

Cuando instalamos estas electroválvulas en el accionador manual (válvula de tres vías, salida auto) de la válvula hidráulica, tenemos una válvula hidráulica automatizada que se accionará cuando reciba la señal eléctrica. Esta señal eléctrica puede provenir de un programador de riego, de un autómatas, de un transmisor de señales, etc... Es recomendable utilizar la menor distancia posible de cable eléctrico, por su coste y por la dificultad de encontrar un corte o avería en un cable. Se recomienda cubrir las distancias con microtubo que es más económico y las fugas se encuentran con más facilidad.

En este punto hay que señalar, como consejo, que es preferible añadir un relé hidráulico en el circuito hidráulico, de



Imagen 1: Válvula hidráulica seccionada. Fuente Mundoriego.

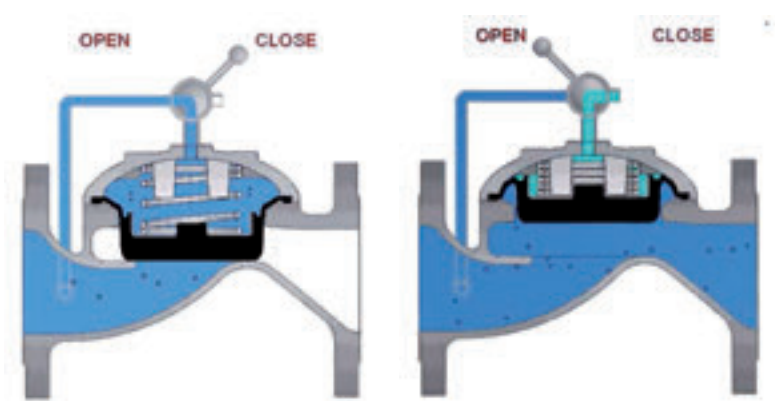


Imagen 2: Válvula hidráulica seccionada cerrada y abierta. Fuente Bermad.



Imagen 3: Válvula hidráulica de plástico con solenoide instalado. Fuente Naandanjain.

modo que el solenoide actúe sobre el relé, en lugar de directamente sobre la válvula hidráulica, es decir:

El relé es un elemento utilizado para invertir la señal, también llamado válvula de apertura rápida o relé anti topográfico. Que tiene el siguiente funcionamiento:



Imagen 4: Solenoides de imán-bobina y de balancín motorizado. Fuente Baccara y Netafim.



Imagen 5: Solenoides de imán-bobina montado en válvula hidráulica. Fuente Bermad.

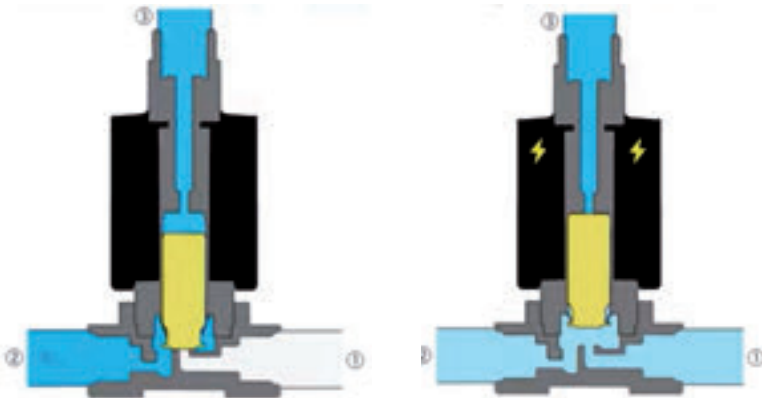


Imagen 6: Solenoide de imán-bobina en posición de reposo y accionado. Fuente Baccara.

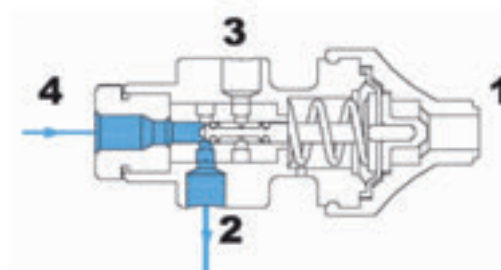


Imagen 7: Válvula hidráulica automatizada con programador, con solenoide directo o con relé hidráulico.

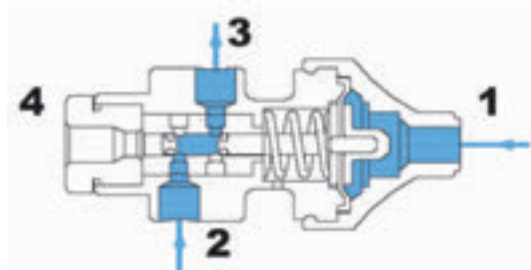
Lo que se consigue con este relé es que el agua de la cámara pasa por el relé hidráulico que suele tener los conductos más anchos que el solenoide y los movimientos del relé son más firmes que los del solenoide. Se suelen crear precipitados en la membrana de la válvula y también partículas de óxido que pueden obstruir los conductos del solenoide o bloquear el imán que ha de desplazarse en cada maniobra. En el circuito directo se hace pasar toda el agua de la cámara o cámaras de las válvulas a través del solenoide, agua que ha estado sometida a diferentes temperaturas y en sitios donde sedimentan las partículas de cal o de turbidez del agua. Con el circuito inverso evitamos obturaciones del solenoide ya que únicamente mueve una pequeña cantidad de agua hacia o desde el relé. Se debe invertir el cableado al programador, ya que con el relé se actúa de modo inverso, es decir, se manda agua desde el solenoide para abrir y se extrae agua para cerrar. De este modo la válvula permanece cerrada en posición de reposo y sólo abre cuando recibe agua del solenoide. Esto es muy interesante cuando se tiene alguna rotura en el microtubo que lleva la señal de apertura, ya que el sector no abre y no riega, por lo que se descubre la avería enseguida, buscando la fuga de agua en el microtubo sobre un terreno no regado. Con la configuración directa el sector queda abierto y riega en todo momento, haciendo más difícil detectar la avería. Estos relés se pueden configurar con distintos muelles, para conseguir que se accionen con una determinada presión y se recuperen con otra concreta (ver ficha de fabricante).

Sobre las válvulas hidráulicas, se pueden instalar pilotos reguladores de caudal y de presión que permitan regular el flujo de agua de modo automático. Estos pilotos están basados en enfrentar la fuerza de un muelle con una membrana a la presión del agua circulante y al caudal transformado en presión o depresión. De esta forma se va llenando o vaciando la cámara de la válvula hidráulica según se quiera dejar pasar más o menos agua a la red de riego.

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO RELÉ HIDRÁULICO O ANTI TOPOGRÁFICO. FUENTE COMETAL.



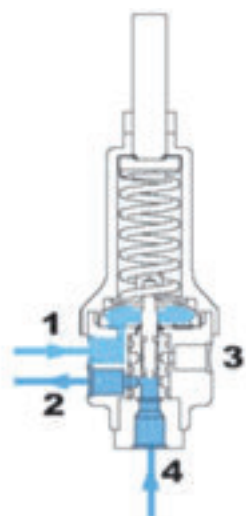
Sin presión en la vía 1 del sensor
En ausencia de señal en la vía 1, el piloto comunica la vía 2 con la vía 4.
EL VAR® ESTÁ DESACTIVADO.



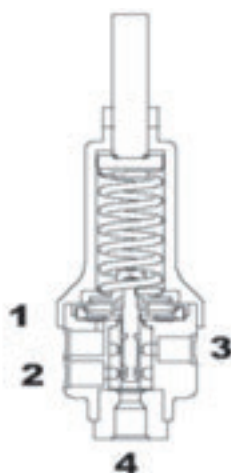
Con presión en la vía 1 del sensor
Con señal hidráulica en la vía 1, el piloto comunica la vía 2 con la vía 3.
EL VAR® ESTÁ ACTIVADO.

Numeración de las vías para VAR® NA: 1 Sensor; 2 Común; 3 Drenaje y 4 Presión

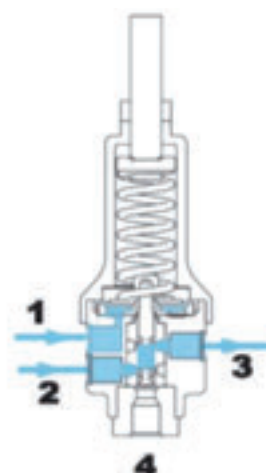
ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO PILOTO DE REGULACIÓN DE PRESIÓN O CAUDAL. FUENTE COMETAL.



Posición superior
Cuando el pistón se encuentra en la posición superior, la vía 1 ha vencido la fuerza ejercida por el muelle, con lo que se comunica la vía 2 con la vía 4.



Posición superior
Cuando el pistón se encuentra en la posición de equilibrio, la fuerza ejercida por el muelle es equivalente a la fuerza que ejerce la presión en la vía 1, con lo que no hay comunicación entre las vías 2, 3 y 4.



Posición inferior
Cuando el pistón se encuentra en la posición inferior, la fuerza ejercida por el muelle ha vencido la presión de la vía 1, con lo que se comunica la vía 2 con la vía 3.

Esta funcionalidad puede usarse para controlar el caudal que pasa por la tubería principal, de modo que si hay alguna fuga (por ejemplo, se suelta un tubo o un tapón), se controla el máximo caudal que puede salir durante la misma y la bajada de presión en la red nos puede servir de aviso de la fuga que nos permita parar el riego. También puede servirnos para controlar la presión, para

que no se acumule más presión en las zonas bajas y, por tanto, mayor pluviometría. En otras ocasiones nos interesa configurar los pilotos como sostenedores de presión, para que no abran hasta que no se alcance una determinada presión, de modo que las zonas bajas no comiencen a regar antes que las altas y no continúen drenado cuando el riego termina.



Imagen 8: Funcionalidades de las válvulas pilotadas. Fuente elaboración propia.



Imagen 10: Programador de pilas 2 estaciones. Fuente internet.

Otra funcionalidad es la de configurarlo como válvula de alivio, para cuando hay algún fallo en los sectores, que se abra y disipe la presión excesiva, protegiendo la tubería y la motobomba.

Para mecanizar todos estos pilotos se utilizan accesorios y microtubo.

Toda la información de cómo instalar estos pilotos reguladores está plasmada en los prontuarios y en las fichas técnicas de los fabricantes, dónde nos indican como se conectan, según el tipo de pilotos, para su funcionamiento correcto.

Los primeros automatismos se hicieron con programadores de pilas en los que se programaba la día/hora del comienzo y la duración del riego. La mayoría de los

regantes acaban configurando programas cíclicos de 24 horas con X horas de riego de cada postura, de modo que al enviar el agua, siempre encuentra una postura abierta, aportando las horas deseadas en riegos parciales o a lo largo de varios días.

Esta dinámica es muy útil cuando la válvula general es un hidrante que se programa por medio de comunidad de regantes, ya que se piden los riegos a la misma y se puede cubrir toda la campaña de riego sin modificar el programador (ver tabla de programación). Hay que poner atención a la hora de cada programador, ya que pueden perder la sincronización y también hay programarlos con unos minutos de solape, para evitar sobrepresiones en la tubería durante los cambios de sectores.



Imagen 9: Accesorios para mecanizar el pilotaje de válvulas. Fuente internet.

		DÍA 1												DÍA 2											
		SECTOR 1				SECTOR 2				SECTOR 3				SECTOR 4				SECTOR 5				SECTOR 6			
1	1 HORA DE RIEGO	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00
2	2 HORAS DE RIEGO	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
3	3 HORAS DE RIEGO	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00
4	4 HORAS DE RIEGO	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
5	5 HORAS DE RIEGO	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00
6	6 HORAS DE RIEGO	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
7	7 HORAS DE RIEGO	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00
8	8 HORAS DE RIEGO	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
9	5 HORAS DE RIEGO	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00
10	6 HORAS DE RIEGO	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
11	7 HORAS DE RIEGO	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00
12	8 HORAS DE RIEGO	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
13	5 HORAS DE RIEGO	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00
14	6 HORAS DE RIEGO	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
15	7 HORAS DE RIEGO	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00
16	8 HORAS DE RIEGO	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
HIDRANTE ABIERTO																									

En la actualidad, el avance de las comunicaciones permite que se pueda tener comunicación con los programadores de riego mediante GPRS y podemos conocer en tiempo real el estado de los equipos. Se está imponiendo la instalación de equipos comunicados por GPRS que nos permiten tener la información en un servidor, consultarla e interaccionar por medio de un ordenador o un teléfono móvil. Podemos incluso sincronizar distintos programadores para que operen como uno solo aunque se encuentren a grandes distancias o incluso pertenezcan a distintas entidades (comunidades de regantes, agricultores particulares, etc...).

Estos equipos permiten tener información en tiempo real de los sectores que

se están regando y, si se han habilitado, la presión, caudal que existe en la tubería, así como la humedad del suelo, velocidad del viento, etc...

Para medir el caudal, existen contadores o válvulas contador que van emitiendo señales del caudal circulante. Los más usados hasta la fecha han sido los contadores tipo Woltmann, aunque se empiezan a instalar otras tecnologías de ultrasonidos o electromagnéticos. Los tipo Woltmann emiten pulsos que el programador registra por una entrada digital. Los programadores GPRS suelen tener una entrada digital de contador para cada sector de riego, aunque lo normal es tener un solo contador que registra el volumen aplicado en el horario que cada válvula

Imagen 11: Tabla de programación de hasta seis sectores, para distintas horas de riego a la semana y según si se quiere regar de día y de noche o sólo de noche. Fuente elaboración propia.intenet.



Imagen 12: Programadores GPRS de distintas marcas montados para trabajar con tuberías portátiles de aluminio. Fuente elaboración propia.

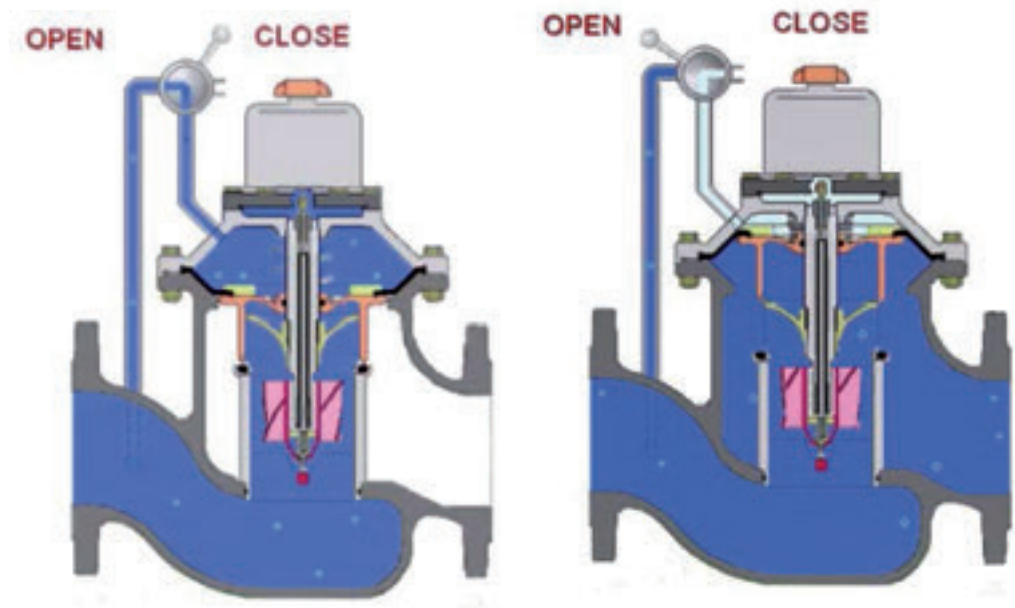


Imagen 13: válvula contador seccionada cerrada y abierta. Fuente Bermad.

está abierta. La presión, humedad, velocidad del viento, etc..., suelen necesitar de una entrada analógica de las que los programadores de riego GPRS, de modo estándar, suelen tener dos. La pluviometría o la lluvia, se suelen registrarse también por pulsos, ya que los pluviómetros llevan un balancín que con cada caída emite un pulso y este se puede registrar como un contador, en una entrada digital (previa configuración).

Los programadores GPRS pueden escalar-se y sincronizarse, de modo que pueden actuar desde cualquier posición, siempre y cuando tengamos cobertura de datos. Se pueden instalar en distintas ubicaciones y después en la configuración de la plataforma de acceso, configurarlos para que actúen como un solo programador, es decir, que aunque estén ubicados a distancias muy grandes, pueden actuar como si de un solo equipo se tratara, de modo que el usuario lo puede ver como si lo tuviera todo unificado en un cabezal de riego (por ejemplo puede ver las válvulas junto a la motobomba de bombeo en su teléfono y sin embargo se encuentran en cada parcela a varios kilómetros de distancia, pero de cara a organizarse y visualizar las actuaciones, es mucho más sencillo verlo todo agrupado en un mismo espacio).

La fotografía aportada en la imagen 12 presenta distintos programadores que se han

habilitado para acompañar a la tubería portátil de aluminio en el lugar que se instale cada campaña, de modo que el agricultor sabe qué sector habilita con cada electro válvula y después lo configura en su teléfono para recordarlo en las programaciones o bien pone una secuencia de riego adaptada a esa parcela en concreto por características de viento dominante, pendientes, "orillos" que tienen aspersores de media vuelta, etc.... También se pueden integrar cada campaña o de modo permanente, junto con el hidrante de la Comunidad de Regantes y programar directamente sobre la plataforma de la misma, de modo que una vez programado un riego, lanza la petición de riego a la Comunidad de Regantes en el periodo abarcado por la configuración de válvulas.

Para finalizar y continuando con las aplicaciones que podemos hacer utilizando programadores, electroválvulas, pilotos y válvulas hidráulicas, se pueden utilizar para accionar sectores enclavados, apoyar la apertura de portaaspersores en largas distancias, o reducir el número de programadores necesarios para manejar la red de riego.

Instalando el relé hidráulico con la toma de presión de la válvula en la entrada número 4 en un sector y en el número 3 en el otro, siendo el número 2 siempre el que comunica con la cámara de la válvula (auto), al enviar la señal por el mi-

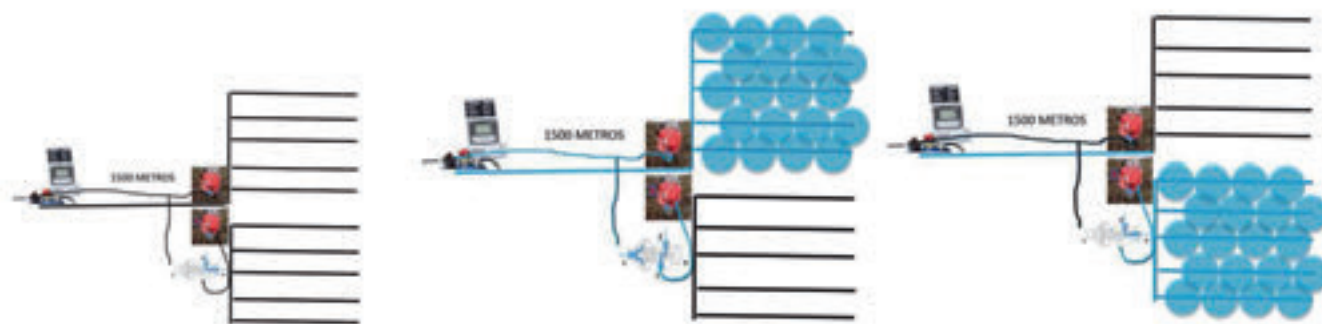


Imagen 14: secuencia de manejo de dos sectores con un programador de una salida. Fuente elaboración propia.

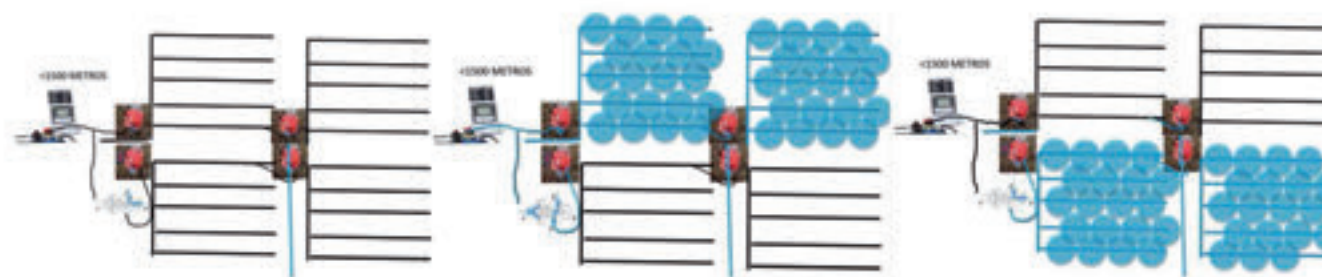


Imagen 15: secuencia de manejo de cuatro sectores con un programador de una salida y dos hidrantes. Fuente elaboración propia.

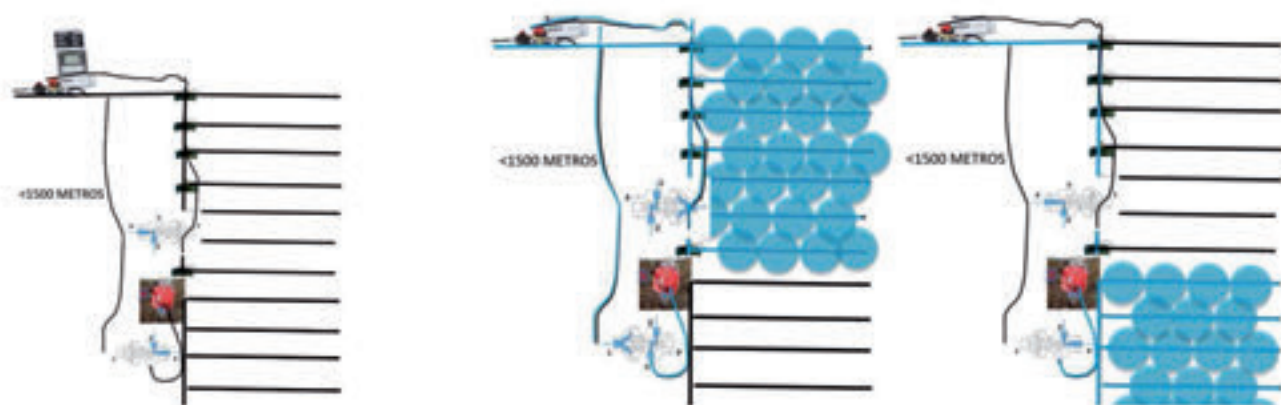


Imagen 16: secuencia de manejo de dos sectores con un programador de una salida y un refuerzo de señal dentro del sector. Fuente elaboración propia.

crotubo a las entradas número 1 de ambos pilotos, conseguimos que uno esté cerrado y otro abierto, al dejar de enviar la señal, conseguimos lo contrario, por lo que si enviamos el agua y programamos el programador el mismo número de horas apagado que regando, tendremos un manejo de riego de dos sectores con un único programador.

Como los relés hidráulicos funcionan enviando agua con presión, podemos hacer que una válvula hidráulica abra cuando

un sector tenga presión, es decir, que si tenemos otro hidrante cercano, podemos hacer que otro sector abra al mismo tiempo que el que tenemos funcionando, simplemente, conectando con un microtubo cualquier punto con presión (tapón de un final, aspersor, tapón de aspersor...) con un relé hidráulico que accione la válvula, de este modo ambos sectores abrirán al mismo tiempo, con un solo programador. Si a esto le unimos la utilidad de la imagen 14, tendremos cuatro sectores manejados con un solo programador.

En ocasiones sucede que tenemos muchos ramales porta-aspersores que están alimentados incluso por diferentes hidrantes, por lo que puede suceder que el encuentro entre las diferentes presiones de los hidrantes o la distancia a la válvula maestra del sector, haga que ciertas válvulas tarden más en abrir o en cerrar. Para reforzar la señal de apertura y cierre, se pueden instalar tantos relés hidráulicos como sean necesarios, de modo que, a partir de ese relé, las válvulas serán comandadas por la señal de la válvula maestra, pero con la presión de trabajo del punto en que se instala el relé hidráulico, siendo más efectiva la orden de apertura y cierre. Si esto lo podemos unir con el resto de utilidades descritas.

En resumen, la agricultura de precisión ha llegado y es necesaria si queremos hacer que sea sostenible. Debemos conocer cada una de las herramientas que usamos, porque si nos ponemos en manos de terceras personas que no están en el terreno y no conocen todos los pormenores, las tradiciones, los históricos, etc..., tenderemos a homogeneizar los procesos, en lugar de mantener y fomentar la diversidad que es lo que nos da la diferenciación y el valor añadido. Todos los equipos que incorporemos a la agricultura deben de dejarnos la opción de funcionar sin ellos, deben de automati-

zarnos los procesos, pero no pueden paralizarlos por un mal funcionamiento o una avería, porque si necesitamos que nos den asistencia y esta no es inmediata o en el corto plazo, el cultivo va a sufrir y el proceso no podrá estar ajustado, ni será sostenible, si tenemos que jugar con coeficientes de seguridad muy grandes, por si acaso nos fallan las variables y tenemos que esperar que nos asistan. Estamos viendo en el campo como la gente vuelve atrás en muchas innovaciones, porque los servicios auxiliares que necesitan posteriormente le hacen inviable su trabajo y/o su rentabilidad. Hemos de trabajar con equipos probados, de los que tengamos garantizados la asistencia y los repuestos en distancia-plazo de tiempo razonable, pero sobre todo, que podamos continuar con el trabajo, mientras estos llegan. Del mismo modo que un tractor no puede quedar parado porque falle un microchip, no podemos permitir que el fallo de automatismos de riego no nos deje manipular una válvula, porque no haya ninguna válvula manual accesible que te lo permita, ni sepamos que microtubo hay que soltar, cambiar o pinzar para realizar la maniobra. Debemos conocer nuestra instalación, nuestros equipos y tenemos que poder manipularlos para que el riego y el trabajo del agricultor pueda continuar, aunque todo lo demás falle.

A large, industrial-grade diesel engine is mounted on a black metal frame, likely part of a generator set. The engine is dark grey with various pipes, hoses, and electrical wiring connected to it. A large, silver, cylindrical component, possibly a muffler or part of the exhaust system, is prominent on the left. In the foreground, a white battery with a black label is visible. The background shows a green field and a cloudy sky.

Generadores diesel agrícolas rendimiento y dimensionamiento

Alfredo Antonio de Castro

Ing. Técnico Industrial e Ing. de Telecomunicaciones. Gerente Riego Solar

Los generadores diésel son una fuente de energía comúnmente utilizada en aplicaciones agrícolas, como en el riego de cultivos. Sin embargo, la eficiencia energética de un generador diésel puede verse afectada por varios factores, incluyendo el tipo de carga aplicada y el método de arranque utilizado. En este artículo, analizaremos el consumo específico en función de los diferentes tipos de carga, así como los pros y contras de los métodos de arranque directo, arranque progresivo y variador de frecuencia.

El generador diésel está formado principalmente por dos partes, un motor diésel de 4 a 6 cilindros, dependiendo de la potencia del generador. Este motor gira siempre a 1500 rpm para conseguir una frecuencia de 50Hz que es la utilizada en Europa, para ello un regulador actúa sobre la bomba inyectora según la carga aplicada al generador para mantener constante el régimen de giro.

Conectado al cigüeñal del motor diésel mediante un acople normalizado está el alternador, encargado de trasladar la energía mecánica proporcionada por el motor diésel en energía eléctrica a 400V. Para mantener constante esta tensión hay un regulador de voltaje que se encarga de este cometido.

La potencia de un generador diésel se mide en kilovatios (kW) y se puede medir en dos lugares diferentes: a la salida del motor y a la salida del alternador. La potencia a la salida del motor se llama potencia bruta, mientras que la potencia a la salida del alternador se llama potencia neta.

La potencia de un generador también se expresa en KVA que es el resultado de dividir lo anterior entre 0,8, (se estima un factor de potencia de 0,8 para dar el dato de potencia aparente).

RENDIMIENTO EN GENERADORES DIÉSEL

El rendimiento de un generador diésel utilizado en riego agrícola depende en gran medida del tamaño del generador y del tipo de carga que se esté alimentando.

En general, los generadores diésel tienen un mejor rendimiento cuando están operando cerca de su capacidad nominal, es decir, cuando están alimentando una carga cercana a su capacidad máxima. Esto se debe a que el motor diésel está diseñado para operar con una carga constante y, por lo tanto, su eficiencia se maximiza cuando está operando en o cerca de su capacidad nominal.

Sin embargo, si el tamaño del generador es demasiado grande para la carga que está alimentando, el rendimiento puede verse afectado negativamente. Esto se debe a que el generador diésel estará funcionando a una carga muy baja y, por lo tanto, su eficiencia será menor.

Por otro lado, si el tamaño del generador es demasiado pequeño para la carga que está alimentando, el generador diésel estará funcionando en su límite máximo, lo que puede provocar sobrecalentamiento y desgaste prematuro de los componentes del generador.

Es importante seleccionar un generador diésel de tamaño adecuado para la carga que se esté alimentando y utilizar protecciones adecuadas para evitar problemas como sobrecargas, cortocircuitos y otros eventos que puedan afectar el

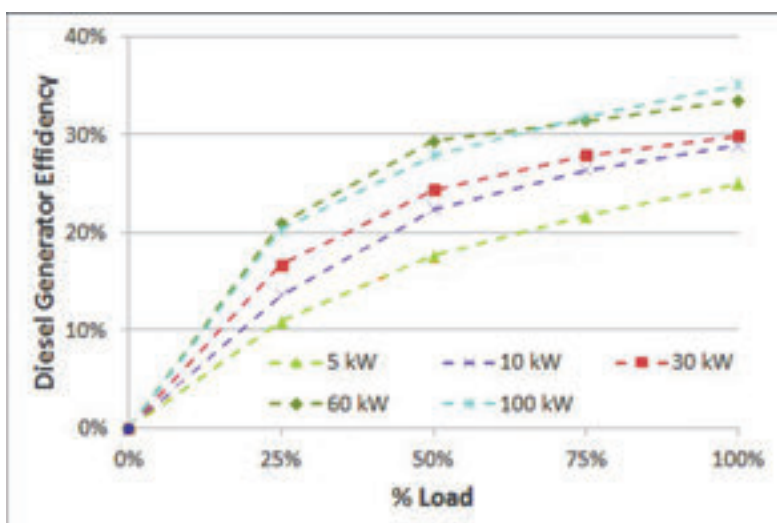


Figura 1. Eficiencia según carga para diferentes potencias.

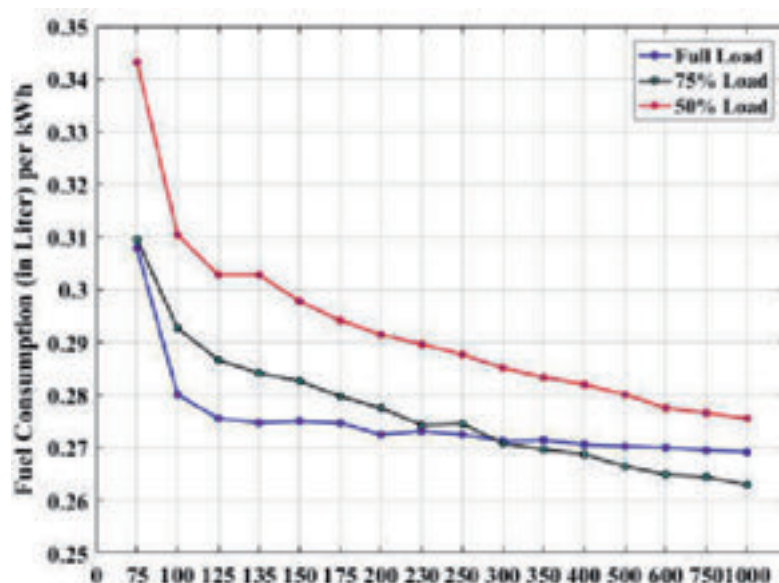
rendimiento y la vida útil del generador. Además, es importante realizar un mantenimiento adecuado del generador diésel para garantizar su buen rendimiento y prolongar su vida útil.

Conclusiones:

- Rendimiento se incrementa al aumentar la carga.
- Cuanto mayor es el generador mayor rendimiento máximo tiene.
- El rendimiento para cargas inferiores al 50% empeora considerablemente.

CONSUMO ESPECÍFICO EN FUNCIÓN DE LA CARGA APLICADA

El consumo específico, también conocido como coeficiente de consumo de combustible (CEC), es una medida de la eficiencia de combustible de un generador diésel. Se define como la cantidad de combustible que se consume para producir una unidad de energía eléctrica (kWh). El CEC típico para un generador diésel de 132 kW (150CV) oscila en torno a 0,28 l/kWh de energía eléctrica producida, esto para una carga del 100% ya que para cargas más pequeñas el CEC aumenta.



Conclusiones:

- Consumo específico disminuye al aumentar la carga siendo menor al 100%
- Cuanto mayor es el generador menor es el consumo específico
- Para generadores de riego 125-150 KVA funcionando entre el 50% y el 75% 0,28-0,3 l/kWh.

Figura 2. Consumo específico según tamaño generador a diferentes cargas.



CONSUMO ABSOLUTO DE LA CARGA APLICADA

El consumo absoluto de un generador diésel son los litros que consume cada hora para una determinada carga aplicada a su salida.

Tamaño del Generador (kW)	1/4 de Carga (lt/hr)	1/2 de Carga (lt/hr)	3/4 de Carga (lt/hr)	Plena Carga (lt/hr)
20	2.3	3.4	4.9	6.1
30	4.9	6.8	9.1	11.0
40	6.1	8.7	12.1	15.1
60	6.8	11.0	14.4	18.2
75	9.1	12.9	17.4	23.1
100	9.8	15.5	22.0	28.0
125	11.7	18.9	26.9	34.4
135	12.5	20.4	28.8	37.1
150	13.6	22.3	31.8	41.3
175	15.5	25.7	36.7	48.1
200	17.8	29.1	41.6	54.5
230	20.1	33.3	47.3	62.8
250	21.6	36.0	51.5	68.1
300	25.7	42.8	60.9	81.4
350	29.9	49.6	70.8	95.0
400	33.7	56.4	80.6	108.3
500	41.6	70.0	99.9	135.1
600	50.0	83.3	119.2	162.0
750	61.7	103.7	148.8	202.1
1000	81.8	137.8	197.2	269.1
1250	101.8	171.5	246.1	336.1
1500	121.9	205.5	294.5	403.1
1750	142.0	239.2	343.3	470.1
2000	162.0	273.3	391.8	537.1
2250	182.1	307.0	440.6	604.1

Tabla 1. Consumo en litros/h para varias tallas de generador y cargas.

Conclusiones:

- Desde el punto de vista del consumo elegir un generador que trabaje cerca del 100% de su carga si es posible técnicamente.
- Para cargas por debajo del 50% se empeora mucho el consumo específico.
- Ejemplo1 Carga de 50KW: Generador de 100KW al 50% de carga consume 15,5l/h. Generador de 200KW al 25% de carga consume 17,8l/h.
- Ejemplo 2 Carga de 100KW: Generador de 100KW al 100% consume 28 l/h, Generador de 200KW al 50% consume 29,1 l/h, Generador de 400KW al 25% consume 33,7l/h.

TIPOS DE CARGA

La carga aplicada a la salida del generador va a tener un efecto en su comportamiento y en su dimensionamiento por lo que es muy importante saber la carga adecuada para poder dimensionarlo bien.

Carga resistiva

- Son las más comunes en aplicaciones domésticas.
- Permiten seleccionar el generador ajustado a la carga sin sobredimensionarlo.
- No tienen transitorios de arranque

Carga inductiva

Son las más comunes en aplicaciones industriales.

- Típicas de motores y bombas.
- Tienen transitorios de arranque, un motor puede consumir de 5 a 10 veces la corriente nominal en un arranque directo, haciendo necesario sobredimensionar el generador, soluciones:
 - Arranque estrella-triángulo
 - Arrancador progresivo
 - Variador de Frecuencia

Figure 1. AC voltage and current sine waves

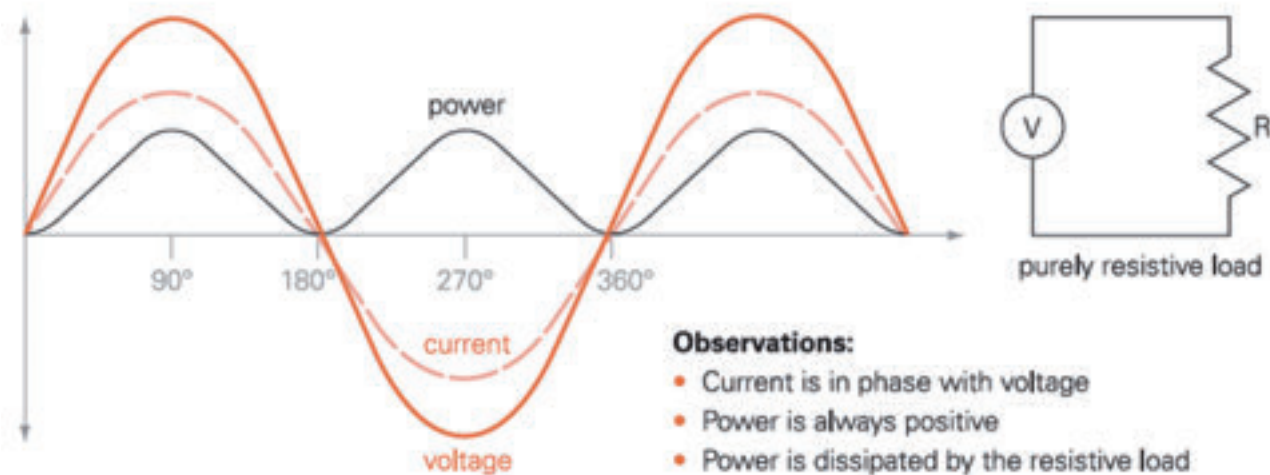


Figura 3. Carga resistiva.

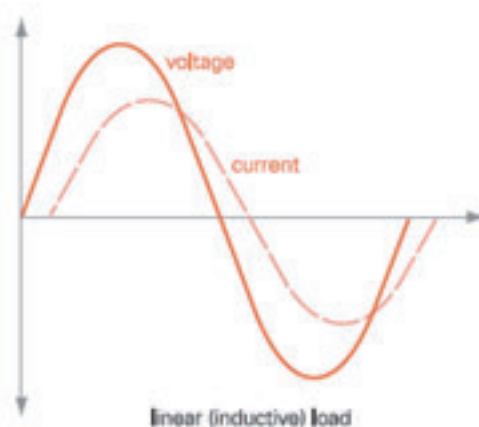


Figura 4. Carga inductiva.

Carga no lineal

- Típicas de la utilización de electrónica de potencia (Variadores, Fuentes de alimentación conmutadas...)
- El transitorio de arranque, se reduce ajustando la rampa de aceleración-deceleración del variador.
- Problemas de distorsión armónica en la línea haciendo necesario sobredimensionar el alternador o que esté adaptado a este tipo de cargas.



Figura 5. Carga no lineal

MÉTODOS DE ARRANQUE

El método de arranque utilizado en un generador diésel también puede afectar su eficiencia energética debido al dimensionamiento de este. A continuación, se analizan los tres métodos de arranque más comunes: arranque directo, arranque progresivo y variador de frecuencia.

Dependiendo del método utilizado podremos seleccionar un generador que trabaje más cerca de su capacidad máxima mejorando su eficiencia.

Arranque directo

El arranque directo es el método más simple y económico de arrancar una carga. Consiste en conectar la carga directamente al generador diésel mediante un contactor o un seccionador, sin utilizar ningún dispositivo de arranque adicional. Sin embargo, el arranque directo de una carga inductiva, como una bomba sumergible, puede tener un impacto negativo en el generador diésel, ya

que la corriente de arranque puede ser muy alta y sobrecargar el generador. Por lo tanto, es necesario sobredimensionar el generador para arranque directo con la consiguiente pérdida de rendimiento una vez arrancada la carga. Existe una variante de este método utilizando un arranque estrella-triángulo que minimiza la corriente en el arranque.

Arranque progresivo

El arranque progresivo es un método de arranque que utiliza un arrancador progresivo, que se encarga de controlar la corriente que llega a la bomba durante el arranque utilizando electrónica de potencia. De esta manera, se reduce la corriente de arranque y se protege tanto el generador como la carga. Esto permite utilizar un generador diésel de menor tamaño en comparación con el arranque directo, lo que puede mejorar la eficiencia energética del sistema al poder dimensionar mejor el generador.

Variador de frecuencia

El variador de frecuencia se encarga de controlar la velocidad del motor eléctrico que acciona la bomba sumergida. El variador de frecuencia ajusta la frecuencia y la tensión de salida para controlar la velocidad del motor eléctrico y, por ende, la velocidad de la bomba.

Con este sistema podemos controlar la velocidad del arranque haciendo una aceleración de la bomba suave que permita al generador ajustarse y no bajar su velocidad de giro.

El uso de un variador de frecuencia permite ajustar la velocidad de la bomba de acuerdo a las necesidades de la aplicación, lo que significa que se puede controlar la cantidad de agua que se suministra y la presión en la red de distribución. Además, el uso de un variador de frecuencia también ayuda a reducir el consumo de combustible del generador diesel y prolonga la vida útil de la bomba al evitar arranques y paradas bruscas.

EFFECTO DE LA CONEXIÓN DE LAS CARGAS AL GENERADOR

Existen 2 efectos en los transitorios de arranque y paro de una carga.

- Efectos de los transitorios sobre la frecuencia / velocidad del motor, se produce al arrancar o parar una carga en el generador haciendo que disminuya o aumenten el número de rpm del motor y por consiguiente la frecuencia del generador. Al aumentar la carga la bomba inyectora debe inyectar más combustible para mantener la velocidad de giro.
- Efecto de los transitorios sobre la tensión del alternador, producidos al conectar o desconectar una carga, el AVR deberá aumentar la corriente o disminuirla en el rotor para ajustar la tensión de salida.

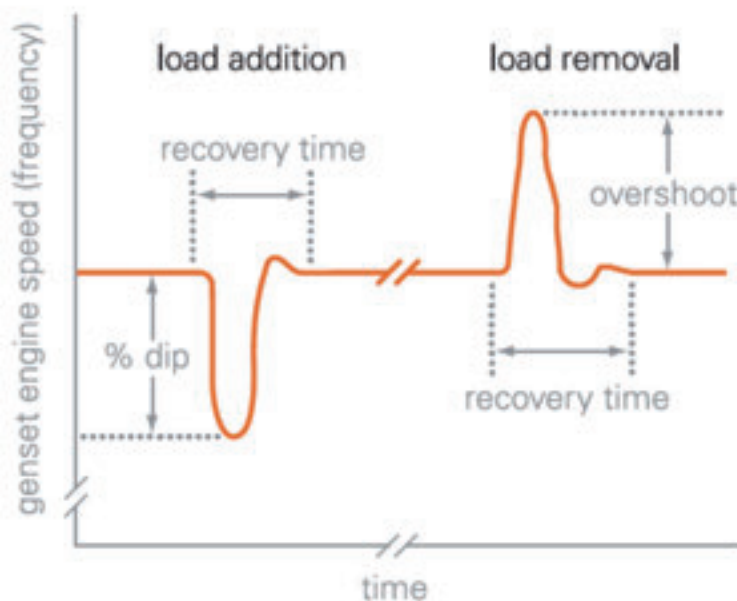


Figura 6. Transitorio arranque-paro.

CONCLUSIONES

- Elija siempre la potencia del grupo electrógeno para trabajar como mínimo entre el 50 y el 70% de la potencia total, de esta forma se garantiza un correcto funcionamiento de la máquina. Trabajar por debajo del 50% empeorará mucho el rendimiento y acercarnos al 100% también será imposible pues en el arranque de nuestra bomba vamos a necesitar un margen de potencia para que el motor y alternador funcionen bien y no bajen las ni las revoluciones ni la tensión de salida.
- No sobredimensionar el grupo, solo cuando sea estrictamente necesario por el tipo de carga o arranque.
- Utilizar arrancadores progresivos para minimizar el transitorio de arranque, aunque este se mejora utilizando variadores de frecuencia ajustando las rampas.
- El uso de variadores de frecuencia es necesario si queremos ahorrar bajando la presión de trabajo y nuestro sistema de riego nos lo permite, si no utilizar un arrancador.
- Los variadores de frecuencia mejoran los transitorios de arranque y parada aunque afectan al alternador, siendo necesario sobredimensionarlo y adecuarlo a este tipo de cargas, por tanto el motor diésel puede ser ajustado a la carga pero el alternador deberá soportar este tipo de cargas no lineales, también las protecciones contra defectos a tierra que incorporan los generadores (diferenciales) deberán de ser adecuadas para no tener disparos de estas debido a este tipo de cargas.



El riego de la remolacha azucarera

Rodrigo Morillo-Velarde Pérez-Barquero
Herminio Velicia Martínez
Juan Carlos Martínez Díez

INTRODUCCIÓN.....	97	ET de la remolacha.....	124
1. INGENIERÍA DEL RIEGO.....	99	Siembra primaveral.....	124
1.1. CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ASPERSORES ESTACIONARIO.....	99	Siembra otoñal.....	125
Componentes del riego por aspersión.....	99	2.2. PROGRAMACIÓN DEL RIEGO.....	126
La aplicación del agua.....	99	La programación del riego.....	126
Caracterización del funcionamiento.....	100	El suelo como almacén de agua y sus características.....	127
Caracterización del reparto de agua.....	101	Programación de riego por el método de balance hídrico en remolacha.....	129
Repercusión del volumen de riego y el CU en la producción de los cultivos.....	102	La programación de riego en el Plan de Asesoramiento de Riego.....	130
Recomendaciones de diseño y manejo.....	103	Necesidades de riego de la remolacha.....	131
1.2. RIEGO CON SISTEMAS AUTOPROPULSADOS POR ASPERSIÓN.....	105	2.3. RIEGOS DE NASCENCIA.....	132
El pivot central.....	105	2.4. MANEJO DEL RIEGO: INICIO Y CORTE DEL RIEGO.....	132
Pivot multicentro.....	110	Zona norte.....	132
El lateral de avance frontal o rampa lateral.....	110	Inicio del riego.....	132
Pivot lateral.....	110	Corte del riego.....	133
Los cañones de riego.....	111	Zona sur.....	134
1.3. RIEGO POR GOTEO.....	113	Inicio del riego.....	134
Características del riego por goteo.....	113	Corte del riego.....	135
Componentes del riego por goteo.....	114	2.5. . EVALUACION EN CAMPO DE UN SISTEMA DE RIEGO.....	136
Ventajas e inconvenientes del sistema.....	115	2.6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	146
1.4. COSTES DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE RIEGO.....	116	ANEJOS	
1.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116	Propiedades físicas del suelo.....	148
2. AGRONOMÍA DEL RIEGO.....	117	Calendarios de riego.....	149
2.1. NECESIDADES DE AGUA DE LA REMOLACHA.....	117		
La evapotranspiración.....	117		
Medidas de la evapotranspiración: lisímetros.....	118		
Métodos de cálculo y estimación de la evapotranspiración de referencia.....	119		
a) Evaporímetro de Clase A.....	119		
b) Método micrometeorológico de Penman- Monteith.....	121		
c) Método de Hargreaves.....	122		
d) Método de Blaney-Criddle.....	123		
e) Método de Radiación.....	123		
Coefficiente de cultivo, Kc.....	123		

Introducción

El cultivo de la remolacha azucarera en nuestro país se distribuye en tres amplias zonas: Norte y Sur. En la zona Norte la siembra del cultivo es en primavera, siendo prácticamente en su totalidad de regadío, mientras que en la zona Sur la siembra del cultivo es en otoño, donde aproximadamente la mitad de la superficie es de secano y la otra mitad de regadío.

Las dos zonas remolacheras se encuentran entre los paralelos 36 y 42 de latitud norte. En esta amplia franja existe un déficit hídrico (diferencia entre consumo de la remolacha y lluvias) que hace necesario el riego para cubrir las necesidades de agua del cultivo. Este déficit oscila en función de la zona de cultivo, y según se trate de años secos o húmedos.

A la hora de aportar mediante riego el agua necesaria que compense el déficit es inevitable que surjan preguntas como:

- ¿Cuándo se debe iniciar el riego?
- ¿Cuánta agua hay que aportar a la remolacha en toda la campaña?
- ¿Cuándo hay que aplicar el riego y qué volumen aplicar?
- ¿Cómo aplicar el agua al suelo?
- ¿Cuándo finalizar la campaña de riego?

A todas estas preguntas se intenta contestar en los distintos apartados de la charla mediante el análisis de los diferentes factores que afectan a cada una de las cuestiones planteadas.

Para la aplicación del agua necesaria mediante el riego existen varias posibilidades. Tres son los métodos más utilizados: riego por aspersión, riego por gravedad y riego localizado.

La aplicación del agua mediante **riego por aspersión** es la más utilizada en el cultivo de la remolacha, debido a sus posibilidades en cuanto a manejo del riego, automatización y control del mismo, así como a los buenos resultados obtenidos con este sistema en este cultivo. En gran parte de la publicación se analizarán sus características y las condiciones particulares de manejo.

La aplicación del agua mediante el **riego por gravedad** se realiza principalmente en los regadíos desarrollados por las Administraciones Públicas (nacionales o regionales). En este método se aplica una lámina libre de agua a lo largo de un cauce permeable. Para el riego de la remolacha el más utilizado es el método de riego por surcos. El riego por surcos exige una adecuada explanación para que la pendiente a lo largo del surco sea constante. Por ser un sistema poco eficiente con el agua, difícil de mejorar y aumentar el riesgo

Riego localizado.



de pudriciones en la raíz consideramos que no es el mas adecuado para el riego de la remolacha.

La aplicación del agua mediante **riego localizado** (fundamentalmente goteros y cintas goteadoras), es el de mayor perfección en el sistema de aplicación. Este sistema tiene actualmente un uso muy limitado en el cultivo de la remolacha, teniendo como ventajas el ahorro de agua y la posibilidad de fertirrigación. Existen también dificultades sobre todo en cuanto al manejo, dificultad de tratamientos y al coste de la instalación.

Las necesidades de riego se analizan, en primer lugar de un modo global, mediante datos climatológicos medios de una serie de 30 años, y se describen métodos de programación del riego para aplicar el agua en condiciones particulares y según las necesidades reales de cada parcela.

En el capítulo dedicado a manejo del riego se describe el comportamiento de la remolacha en las diferentes fases del cultivo ante déficit de agua, y la forma más eficiente de ahorrar agua.

En resumen, se analiza el riego de la remolacha en todas sus vertientes con la idea de optimizar el importante factor de producción que es el agua.

Riego por aspersión.

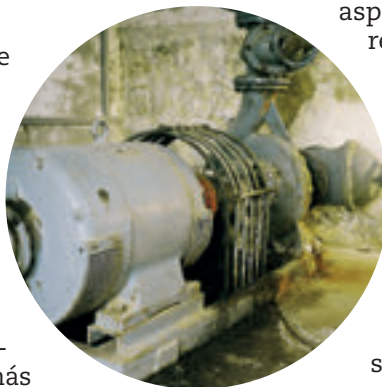


1. Ingeniería del riego

1.1. CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ASPERSORES ESTACIONARIO

Componentes del riego por aspersión

Las unidades básicas que componen el sistema son: el grupo de bombeo, las tuberías principales con los hidrantes, las tuberías portaemisores (ramales o alas de riego) y los propios emisores. Estos últimos pueden ser: tuberías perforadas, difusores fijos o toberas y aspersores. De todos ellos los más utilizados son los aspersores, que pueden llevar una o dos boquillas.



aspersor o bien mediante varios aspersores, de modo que el reparto del agua sea lo más uniforme posible en el área deseada.

En relación con la aplicación del agua al suelo hay que tener en cuenta los siguientes efectos:

- La uniformidad de distribución en superficie y su gran dependencia de la acción del viento en intensidad y dirección.
- La redistribución dentro del suelo que mejora sensiblemente la uniformidad real del agua aplicada.
- La relación entre la velocidad de aplicación (pluviometría del sistema) y la capacidad de infiltración del agua en el suelo, produciéndose escorrentía si la primera supera a la segunda.
- El posible deterioro de la superficie del terreno por el impacto de las gotas, si éstas son muy grandes, y su repercusión en la infiltración, en-

La aplicación del agua

El proceso de aplicación de agua de un aspersor consiste en un chorro de agua que sale a gran velocidad por la boquilla del aspersor, debido a la presión, y que se dispersa por efecto del rozamiento del chorro de agua con el aire, generando un conjunto de gotas que se distribuyen sobre la superficie del suelo.

El proceso tiene como finalidad aplicar el agua en el suelo, quedando a disposición del cultivo, bien mediante un único

Arriba: Grupo de bombeo.
Debajo: Instalación de distribución.



charcamiento, formación de costra, erosión, etc.

La aplicación uniforme del agua depende principalmente del modelo de reparto del aspersor y de la disposición de los aspersores en el campo (marco de riego).

El modelo de reparto de agua del aspersor viene definido por el propio diseño del aspersor, el tipo y número de boquillas y la presión de trabajo. El viento, principal distorsionador de la uniformidad de reparto, juega un papel fundamental en las pérdidas por evaporación y arrastre producidas durante el proceso de aplicación, donde el tamaño de gota y la longitud de su trayectoria de caída son factores fundamentales.

A estos factores pueden añadirse otros de menor trascendencia como la altura del aspersor sobre el terreno, la introducción de vaina prolongadora de chorro (VP) en la boquilla, originando un chorro más compacto, o la duración del riego, cuyo incremento favorece la uniformidad de distribución por compensarse, en parte, las distorsiones producidas por el viento al variar éste con el tiempo.



Caracterización del funcionamiento

Los factores prácticos a tener en cuenta en el funcionamiento de los aspersores son:

a) Caudal emitido.

Es función del tamaño de sus boquillas y de la presión existente en las mismas. También depende, en menor medida, de la forma del orificio de salida del chorro y de si lleva vaina prolongadora de chorro (VP) o no. Normalmente se expresa en litros por hora (l/h), litros por segundo (l/s) o metros cúbicos por hora (m³/h).

b) Marco.

El marco determina la interacción o solape entre los círculos mojados por los aspersores contiguos para lograr una buena uniformidad de reparto de agua. En general son múltiplos de 3 m para sistemas con tuberías en superficie, y pueden tomar cualquier valor si se trata de tuberías enterradas. La superficie (S) regada por cada aspersor se calcula multiplicando la distancia entre aspersores por la distancia entre líneas. Según la disposición de los aspersores, los marcos pueden estar en cuadrado/rectángulo o romboidal (tresbolillo).

Arriba: Emisor tipo aspersor.
Debajo: Aspersores regando.



c) Pluviometría media del sistema.

Es la relación que existe entre el caudal descargado por el aspersor (q) y la superficie correspondiente al marco de riego (S):

$$P \text{ (mm/h ó l/m}^2\text{-h)} = q \text{ (l/h)} / S \text{ (m}^2\text{)}$$

Esta pluviometría debe ser siempre inferior a la capacidad de infiltración del suelo mas el almacenaje superficial, ya que en caso contrario se podría producir erosión o encharcamiento; esto último conduciría a su vez a problemas de asfíxia radicular y al desarrollo de enfermedades bacterianas y criptogámicas.

d) Tamaño de gota

La distribución de los distintos tamaños de gota producidos por el aspersor afecta directamente al modelo de reparto de agua de los aspersores. Si se producen gotas demasiado pequeñas, la evaporación aumenta y el modelo de reparto de agua resulta más sensible a la distorsión por el viento. Por el contrario, si las gotas son demasiado grandes podrían impactar en el suelo destruyendo la estructura con la consiguiente reducción de la capacidad de infiltración y la formación de costra. En función de la distancia al aspersor, el tamaño medio de las gotas en las proximidades es mucho menor que el producido lejos de él. Los principales factores que afectan a la distribución de los tamaños de gotas son la presión de funcionamiento y el diámetro de la boquilla. Al aumentar la presión, sin variar el tamaño de la boquilla, se incrementa el número de gotas de menor tamaño, mientras que al aumentar el diámetro de la boquilla, a una misma presión, crece la proporción de gotas de tamaño mayor, si bien el efecto del tamaño de la boquilla es mucho menor que el de la presión. Por ello, en los riegos de nascencia, es una buena práctica aumentar la presión para que el impacto de las gotas no destruya la estructura superficial del suelo, evitando así la formación de costra que impida la nascencia de la remolacha.

e) Uniformidad de riego.

El diseño del aspersor, la presión, el viento, el marco de riego, etc., condicionan la distribución del agua. Así, si cada punto de la parcela recibe la misma cantidad de agua, diremos que tenemos una uniformidad de aplicación perfecta (Coeficiente de Uniformidad, CU = 100%), lo cual no se da en la práctica. Lo normal



Medida de la presión de salida en boquilla.

es que haya puntos que reciban más agua del deseado y otros que reciban menos. Todo esto tiene una repercusión en la producción y en el consumo de agua. Así, cuanto peor sea la uniformidad, necesitaremos más agua para conseguir la producción óptima, y para una misma cantidad de agua, cuanto mejor sea la uniformidad, más producción obtendremos.

Caracterización del reparto de agua

Los procedimientos para determinar el reparto de agua de los aspersores pueden agruparse en tres tipos:

- Colocar la red de pluviómetros en el campo a una instalación existente (ver evaluación del sistema).
- Colocar una red de pluviómetros alrededor de un solo asper-

Instalación para la evaluación de emisores.





Evaluación de uniformidad en el campo mediante una red de pluviómetros.

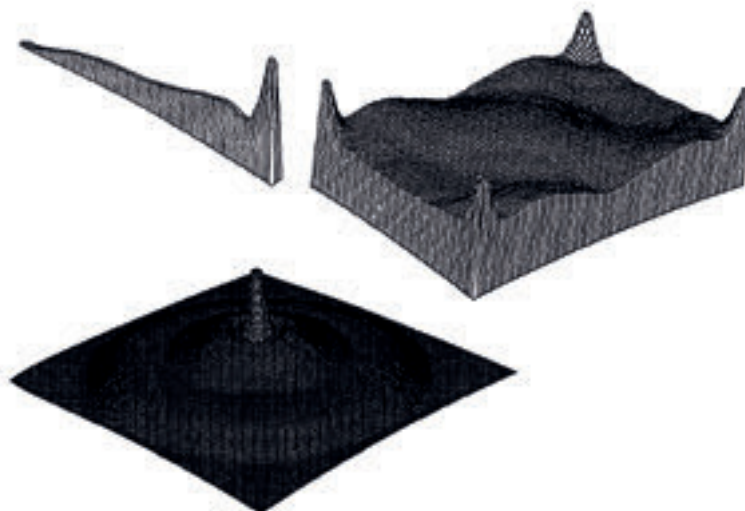
sor al aire libre y establecer el solapamiento correspondiente para cualquier marco de riego.

- c. Reducir la red de pluviómetros a una fila según un radio de círculo mojado y determinar un “modelo radial”, en ausencia de viento y con alta humedad relativa. Girando el modelo radial alrededor del aspersor puede deducirse la pluviometría recogida en la red de pluviómetros del caso anterior.

Este último procedimiento tiene la ventaja de poder controlar todos los factores que intervienen en el proceso, siendo muy adecuado para caracterizar el reparto de agua del aspersor y poder establecer comparaciones entre aspersores; es el más utilizado en centros tecnológicos y de investigación.

Modelización del reparto de agua de un aspersor.

Los aspersores existentes en el mercado



se pueden agrupar en tres modelos básicos de reparto:

- **Modelo elíptico o rectangular:** se obtiene normalmente trabajando con una sola boquilla en el aspersor.
- **Modelo tipo “rosquilla”:** deriva generalmente del anterior, al disminuir la presión de trabajo.
- **Modelo triangular:** se obtiene principalmente cuando el aspersor trabaja con dos boquillas.

El mejor modelo es el triangular, ya que consigue mayores CUC para todos los marcos y presiones, y el peor es el tipo “rosquilla”.

Repercusión del volumen de riego y el CUC en la producción de los cultivos

El conocimiento de la respuesta de los cultivos al régimen de riego es fundamental para la óptima utilización del agua según sus disponibilidades. La función de producción de la remolacha en relación al volumen de agua aplicada mediante riego es distinta según el coeficiente de uniformidad del sistema de riego utilizado.

De los estudios realizados sobre ciertos cultivos se extraen las siguientes conclusiones generales:

- Cuanto mayor es el valor del coeficiente de uniformidad, menor es la aportación de agua de riego necesaria para alcanzar una determinada producción. Esto pone claramente de manifiesto que un sistema bien diseñado y manejado puede producir ahorros importantes de agua y energía, aumentando la rentabilidad del cultivo.
- Cuanto más barata sea el agua el óptimo económico para el agricultor parece obtenerse aumentando la aplicación del agua con el riego para hacer frente a la falta de uniformidad. Esto implica una mayor percolación y lavado de fertilizantes y otros productos, lo que producirá una disminución de la producción del cultivo, además de una contaminación de los acuíferos receptores de esas aguas.

Recomendaciones de diseño y manejo

Como recomendaciones generales para el diseño y manejo de una instalación de riego con cobertura total de aspersores se pueden dar las siguientes:

1. Como norma general, cuanto menor es el marco de riego mayor es la uniformidad que suele conseguirse, pero esto tiene excepciones porque la forma del marco y el modelo de reparto también influyen. El marco más pequeño que se suele recomendar es el 12x12 y el más grande el 18x18. Para estos marcos la presión media en el ramal portaspersores debe estar entre 3 y 4 kg/cm².
2. Se consiguen mayores uniformidades con marcos cuadrados (15x15 y 18x18) que con los rectangulares equivalentes (12x18 y 15x21) cuando el aspersor lleva 2 boquillas, cualquiera que sea la velocidad del viento. En aspersores con 1 boquilla sucede prácticamente lo mismo si la boquilla no lleva VP, pero ocurre justo lo contrario cuando a la boquilla se le incorpora la VP (Vaina Prolongadora).
3. Para sistemas de ramales móviles de aluminio se recomienda utilizar marcos de 12x15 ó 12x18 para no tener que mover demasiadas veces los tubos, con dos boquillas en el aspersor (3,6 + 2,4 mm ó 4 + 2,4 mm) y una presión media de 3 kg/cm². No obstante, en el marco 12x18 pueden obtenerse también valores altos de uniformidad con una sola boquilla (4,4 mm).
4. Para sistemas fijos en superficie (cobertura aérea) se recomienda utilizar marcos de 12x15 en rectángulo o triángulo y 18x15 en triángulo, con dos boquillas en el aspersor (3,6 + 2,4 mm ó 4 + 2,4 mm) y una presión media de 3 y 3,5 kg/cm² respectivamente.
5. Utilizar dos boquillas en el aspersor mejor que una, con vaina prolongadora (VP) en la boquilla grande para velocidades de viento mayores de unos 2 m/s.
6. En marcos rectangulares como el 12x18, si se utilizan aspersores de 1 boquilla, parece más recomendable que el menor espaciamiento sea paralelo a la dirección del viento, sin embargo, con aspersores de 2 boquillas, parece mejor que el mayor espaciamiento sea paralelo a la dirección del viento, aunque ésta suele tener poca influencia si la boquilla grande lleva VP.
7. La diferencia de presiones entre el primer y último aspersor de un mismo ramal no debe ser mayor que el 20% de la presión nominal (a 1/3 del ramal).
8. Diseñar los sistemas con pluviometrías bajas (5-7 mm/h) para que, además de evitar problemas de encharcamiento y escorrentía, duren más las posturas de riego y se obtenga mejor uniformidad al compensarse, en parte, las distorsiones producidas por el viento.
9. Los aspersores sectoriales deben trabajar con una sola boquilla ya que así consiguen un modelo de reparto más triangular, sin excesiva acumulación de agua en las proximidades del aspersor. La distribución de agua que produce el aspersor cuando regresa de forma rápida a su posición inicial, sustituye a la distribución producida por la boquilla pequeña. Colocar dos boquillas en aspersores sectoriales deteriora considerablemente la uniformidad de reparto porque la pluviometría en las proximidades del aspersor es excesiva.
10. Tratar de evitar las presiones superiores a 4 kg./cm² ya que, aparte del mayor coste económico, produce mayor proporción de gota pequeña, que es más fácilmente arrastrada por el viento, lo que hace disminuir la uniformidad al aumentar la velocidad del viento.
11. Cuando se cambie algún aspersor hay que poner otro del mismo modelo.
12. Aprovechar al máximo el riego nocturno por los siguientes motivos: tener menores pérdidas por evaporación, coincidir normalmente con menores velocidades de viento y ser más barata la energía eléctrica. Este riego requiere, no obstante, un mínimo de automatización.
13. Por último, habría que destacar



el hecho de que tanto la Administración Pública como los usuarios particulares deberían exigir, antes de la compra del material de riego, la información técnica adecuada así como la correspondiente homologación o certificación del material. De la misma forma debería exigirse una prueba de evaluación a la instalación para tener una idea de la uniformidad de reparto de agua que se consigue. No hay que olvidar que no siempre las instalaciones más baratas ni las más caras son las más convenientes.

Utilizar siempre el mismo número y tamaño de boquillas en toda la instalación

1.2. RIEGO CON SISTEMAS AUTOPROPUSADOS POR ASPERSIÓN

Existen en el mercado numerosos sistemas o máquinas de riego que poseen la característica de ser sistemas de aspersión que se desplazan automática y simultáneamente a la aplicación del riego. Con estos sistemas se consigue una mecanización y automatización del riego.

Existen dos tipos fundamentales de sistemas autopropulsados:

- **Alas de riego autodesplazables:** basadas en un ala con desplazamiento propio por ruedas, con una estructura metálica en la cual se sitúan los emisores que realizan el riego. Su desplazamiento puede ser radial (pivote lateral, central y multicentro) o frontal (lateral de avance frontal y pivote lateral).
- **Cañones de riego o enrolladores:** basados en uno o varios emisores situados en una estructura metálica portante que se desplaza simultáneamente al riego al ser enrollada y recogida la manguera de alimentación en un tambor.

Se describen a continuación los principales sistemas:

Arriba: Cañón de riego, enrollador.
Debajo: Alas de riego autodesplazables tipo pivote.



El pivote central

Se trata de una tubería portaemisores suspendida sobre unas torres motrices, alineadas entre sí, que giran sincronizadamente alrededor de un centro pivotante, anclado sobre una plataforma de hormigón, por el cual recibe el agua y la energía eléctrica. En su desplazamiento, el pivote va describiendo un círculo y realizando el riego simultáneamente.

Está formado por los siguientes elementos:

1. **Unidad central:** es una estructura de acero en forma de pirámide, anclada en una base de hormigón, que enlaza la tubería enterrada con la tubería del lateral por medio de un tubo vertical de alimentación que permite el giro del sistema gracias a una junta estanca y mecanizados de giro embutidos. En la unidad central se localiza el armario eléctrico, donde se encuentran todos los elementos de funcionamiento y control de la máquina, así como los automatismos y los diferentes dispositivos de seguridad. La alimentación de corriente eléctrica puede llegar por cables enterrados desde la caseta de bombeo o mediante generador colocado en la misma base de la unidad central.
2. **El lateral de riego:** se trata de una tubería de conducción portaemisores, dividida en tramos por una serie de torres cuya separación oscila generalmente entre 34 y 62 m. La longitud total del ala suele estar entre 100 y 800 m. Tanto los elementos de cada tramo como las torres deben estar contruados con materiales inalterables (aceros de ca-

lidad) y sometidos a tratamientos de galvanizado. La unión entre tramos varía de unas marcas a otras, pero debe ser fuerte y estanca, además de permitir la articulación y giro entre tramos para adaptarse a los terrenos ondulados. Al final del pivot se suele disponer un tramo de tubería en voladizo, de longitud variable (6-30 m) donde se instala el cañón final, en caso de llevarlo. La tubería porta emisores es simultáneamente tubería de conducción de agua y estructura portante del pivote.

3. Las torres: son las unidades motrices del pivot. Su estructura triangular sustenta en su vértice superior el tramo de tubería correspondiente y está provista de ruedas motrices en ambos vértices inferiores. Un pequeño motoreductor eléctrico situado en cada torre transmite el giro a las ruedas por medio de transmisiones tipo cardan. Encima de cada torre se encuentra una caja eléctrica donde se localizan los mecanismos de conexión a los circuitos de corriente y de maniobra, así como los mecanismos de alineamiento y seguridad.

4. Sistema de alineamiento: el alineamiento se realiza de modo automático mediante un sistema que permite avanzar a cada torre alternativamente cuando entre los dos tramos que convergen en la misma forman un ángulo mayor de 15-20°. El movimiento del pivote comienza por la torre final, produciéndose un avance de las demás torres en cadena, desde el extremo hacia el centro, que conllevan el desplazamiento de todo el ala de riego. En el mercado existen actualmente dos sistemas de alineamiento que son el de biela y el alineamiento por cable.

5. Sistema de seguridad: el pivot cuenta con un sistema de seguridad que detiene la máquina siempre que se produce un fallo en el alineamiento por cualquier circunstancia, como puede ser el atasco de una rueda, un obstáculo, etc.

6. Automatismos: la instalación de una serie de automatismos en las máquinas de riego tipo pivote permite un importante ahorro



Pivote central: Torre central, conducción portaemisores y sistema de alineamiento por biela.

de mano de obra en las explotaciones. Los automatismos que se instalan con más frecuencia son:

- Arranque del pivot cuando se alcanza una presión determinada a la entrada del pivote.
- Parada del sistema por pérdida de presión.
- Parada del pivot en un lugar prefijado de la parcela.

- Apertura y cierre del cañón final cuando el pivot llega a puntos concretos.
- Apertura y cierre de un número determinado de emisores.
- Apertura y cierre de todos los emisores en el momento deseado.
- Inversión del sentido de la marcha con retardo.
- Parada de todo el sistema.
- Parada del bombeo que permite el avance sin regar.
- Riego en sentido contrario.
- Diferentes tipos de programaciones.

7. Emisores: los diferentes tipos de emisores existentes en el mercado se pueden agrupar en las siguientes cuatro categorías:

- Aspersores de impacto de ángulo bajo.
- Toberas rotativas.
- Toberas pulverizadoras o sprays.
- Cañones o pistolas finales.

Para alcanzar una buena uniformidad de distribución, se deben tener en cuenta el tipo de emisor, el espaciamiento entre sí a lo largo del lateral, el tamaño de las boquillas y la presión de funcionamiento. En la actualidad se tiende al empleo de emisores de presión media. También es frecuente la utilización de cañas descendentes (drops) que aproximan el emisor al suelo tanto como se quiera.



Diferentes tipos de emisores.



Cuadro de control eléctrico de automatismos.



Torre de un pivote central.

Características del riego con pivote

El riego con pivot central se caracteriza porque la **pluviometría instantánea** crece desde el centro hasta el extremo ya que cada sector circular cuanto más alejado está del centro, mayor superficie tiene que regar en el mismo tiempo. Asimismo, debido a que la cantidad de agua a aplicar es la misma en todos los puntos, la pluviometría instantánea tiene que crecer, puesto que el tiempo de aplicación es menor a medida que nos alejamos del centro del pivot.

El **caudal** necesario a la entrada del pivote es función de:

- Necesidades de riego punta de la remolacha (**N**, mm/día o l/m² y día).
- Área regada por el pivote (**A**, ha).
- Horas del día que funciona el riego (**H**, horas).
- Eficiencia de aplicación del agua (**Ea**, tanto por ciento).

siendo el caudal necesario Q_0 (l/min):

$$Q_0 \text{ (l/min)} = \frac{N \text{ (l/m}^2 \text{ y día)} \times 1000 \text{ (m}^2 \text{/ ha)} \cdot A \text{ (ha)}}{Ea \text{ (\%)} \times H \text{ (H/día)} \times 60 \text{ (min/h)}}$$

Un ejemplo: Un pivote de 40 has sembrado de remolacha, se quiere regar en el mes de máximas necesidades, julio, con unas necesidades de 7 mm/día. Supuesta una eficiencia del 85% y un funcionamiento continuo y permanente, el caudal de entrada debe ser:

$$Q_0 = \frac{7 \times 10000 \times 40}{0.85 \times 24 \times 60} = 2.287,6 \text{ l/min} = 38.1 \text{ l/s}$$

Toberas rotativas con montaje tipo Drops, evitan mojar la estructura



La pluviometría en cada sector es constante y depende del diseño, cambiando para cada aplicación en función del tiempo de riego.

Una de las limitaciones del sistema de pivot es la pluviometría instantánea en el extremo del mismo, que debe ser menor que la capacidad de infiltración del suelo para que no se produzcan escorrentías.

La **pluviometría máxima en el extremo** se calcula por la siguiente expresión:

$$P_m = \frac{14.400}{\Pi} \times \frac{Q_0}{R \times r_a}$$

siendo:

Q_0 = caudal en el centro del pivot

R = radio del pivot en m.

r_a = radio mojado del emisor en m.

Es necesario comprobar que la **velocidad de infiltración** del suelo, que depende de la textura y de la pendiente del suelo, es mayor que la pluviometría máxima (ver triángulo de texturas con las velocidades de infiltración) y la **capacidad del almacenamiento de agua en la superficie**, que será menor cuanto mayor sea la pendiente del terreno. Algunos valores se indican en la tabla adjunta

Pendiente (%) Capacidad de almacenamiento (mm de lámina de agua)

0 - 1	12.7
1 - 3	7.6
3 - 5	2.5

Las dosis máximas de riego dependen del tipo de suelo y emisor. Valores orientativos de estas dosis máximas se indican en la tabla adjunta.

FAMILIA DE INFILTRACIÓN	TIPO DE SISTEMA	ALMACENAJE SUPERFICIAL (MM)			
		0	2,5	7,6	12,7
0.3 Arcilloso	A	20	30	43	56
	B	13	20	33	
	C	5	13	23	
	D	<3	8	18	
	E	<3	<3	13	
0.5 Franco	A	51	66	84	
	B	25	36	51	
	C	10	18	30	
	D	<3	13	20	
	E	<3	8	18	
1.0 Arenoso	A	SL	SL	SL	
	B	107	122	SL	
	C	36	48	66	
	D	18	28	43	
	E	10	20	36	

A = Sistema de alta presión. Pluviometría máxima de 25 mm/h.

B = Sistema de media presión. Pluviometría máxima de 38 mm/h.

C = Sistema de aspersores de baja presión. Pluviometría máxima de 64 mm/h.

D = Sistema de toberas de baja presión con descarga en 360° y pluviometría máxima de 89 mm/h.

E = Sistema de toberas de baja presión con descarga en 180° y pluviometría máxima de 152 mm/h.

S.L = Sin Limitación. La pluviometría no limita la dosis.

Entre las **ventajas** que presenta el sistema de riego por pivot destacan:

- Mejora de la uniformidad de riego, en función del diseño del pivot.
- Ahorro energético en cuanto a necesidades de energía de bombeo, al ser necesaria una menor presión en los emisores que puede alcanzar el 40% de ahorro en comparación con otros sistemas de aspersión que funcionan con presiones de 45 m.c.a. en los emisores.
- Automatización del sistema de riego y ajuste automático para el riego de esquinas.
- No necesita mano de obra.

Pivot multicentro

El caudal de entrada en el ala de riego se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{N \cdot l \cdot a \cdot L}{t_l \cdot Ea} \cdot 1,16 \cdot 10^{-5}$$

siendo:

Q = caudal de entrada a sistema, en l/s

N = necesidades punta del cultivo, en mm/día ó l/m²/día

l = intervalo entre riegos, en días

a = anchura de la parcela o longitud del lateral, en m.

L = longitud de la parcela, en m.

t_l = tiempo de funcionamiento del equipo para dar un riego, en días

Ea = eficiencia de aplicación, en tanto por uno

La **pluviometría media** en este tipo de sistemas viene dada por:

$$Pm = (mm/h \text{ ó } l/m^2/h) = 3.600 \cdot Q (l/s) / (a \cdot 2r)$$

siendo:

Q = caudal de entrada

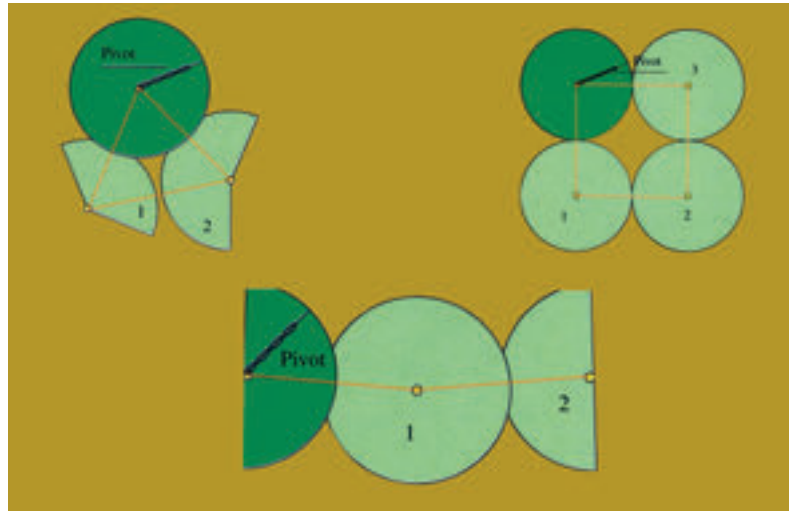
a = anchura de la parcela

r = radio mojado de los emisores.

Pivote lateral

Es una máquina de riego en la que se conjugan las ventajas de los modelos de pivot descritos anteriormente (central, multicentro y rampa lateral) con el fin de poder adaptarse con una misma máquina a la estructura parcelaria de las explotaciones y realizar el riego de forma automática, tanto en avance frontal como girando alrededor de un punto fijo, sin modificar la configuración ni la estructura del equipo. Para ello el pivot lateral dispone de una unidad central específica.

La unidad central del pivot lateral posee cuatro ruedas motrices con un robusto bastidor sobre el que va anclada una estructura piramidal. Esta estructura abraza el tubo de conducción vertical que se acopla por su extremo superior al primer tramo y por su extremo inferior se engancha a la manguera de alimentación. En el bastidor van acoplados los motores-reductores, los reductores, el armario de control y maniobras y el sistema de alineamiento, además de un conjunto de lastres que aumentan la capacidad de



tracción del equipo.

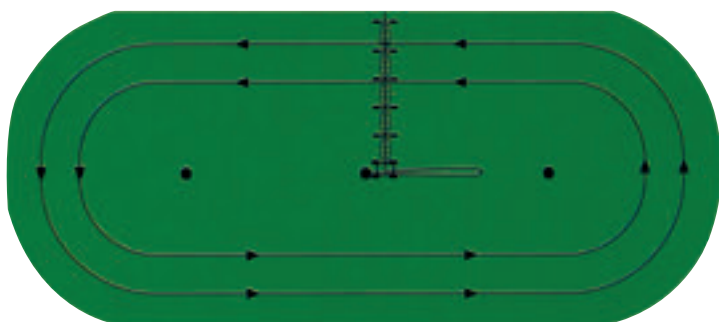
Las maniobras programadas en el armario de control se traducen en órdenes de funcionamiento de los tramos a través del sistema de detectores situado en la parte superior de la estructura piramidal.

La automatización de este tipo de pivots es máxima, uniendo a los descritos para el pivot central otros específicos, pudiendo llegar a tener un control total de la instalación con un ordenador personal portátil desde cualquier lugar donde se encuentre.

Ejemplo de diferentes áreas regadas mediante un pivote multicentro.



Pivote multicentro: torre principal.



Ejemplo de diferentes áreas regadas mediante un pivote lateral multidireccional

Rampa lateral de avance frontal.

Los cañones de riego

Se trata de aspersores de gran tamaño (cañones de riego o enrolladores) que trabajan con alta presión y mojan gran superficie, con desplazamiento simultáneo al riego mediante el arrastre del cañón por enrollamiento de la propia manguera de abastecimiento (enrollador) o por arrastre con ayuda de un cable con un extremo unido al cañón y otro fijo en el borde de la parcela (cañón viajero).

Este sistema de riego suele desplazarse a una velocidad entre 10 y 50 m/h, siendo la pluviometría inversamente proporcional a la velocidad de avance.

El sistema de avance del enrollador se basa en que el cañón está unido a una manguera flexible que se enrolla en un tambor mediante un sistema de turbina o fuelle hidráulico, que aprovecha la pro-

pia presión del agua para el enrollamiento de la manguera. La manguera, el tambor y el cañón se montan en un carro que es movido por un tractor en cada cambio de postura.

Estos sistemas requieren altas presiones de funcionamiento, oscilando entre 4 y 10 bares (400 - 1.000 KPa) de presión.

Los cañones viajeros realizan su movimiento gracias al enrollamiento de un cable por el tambor, estando el otro extremo del cable anclado en el borde de la parcela.

El aspersor de gran tamaño realiza el riego en sectores circulares cuyo ángulo de giro oscila entre 200 y 220°.

La uniformidad de distribución depende de la acción negativa del viento, la variación de la velocidad de avance, de las ca-



Arriba: Cañón con ala portaemisores.
Derecha: Cañón enrollador.

racterísticas del aspersor y de sus condiciones de trabajo (presión, boquilla, etc.) respecto a la situación óptima.

Este sistema presenta problemas en suelos de textura fina y estructura débil, debido al efecto de las gotas de gran tamaño, sobre todo cuando el riego se realiza sobre suelo desnudo. Presenta la ventaja de una fácil automatización, siendo necesaria la mano de obra sólo para el cambio y la puesta en marcha del sistema.

Una variante del mismo es el **ala portae-misores** sobre carro en la cual se sustituye el cañón por una estructura lineal, perpendicular al sentido de avance, sobre la que se emplazan los emisores y que se desplaza igual que el cañón. Estas alas trabajan a mucha menos presión (2-2,5 kg/cm²) mediante el uso de toberas o difusores, con lo que se obtiene una mayor uniformidad y ahorro de energía.



1.3. RIEGO POR GOTEO

El riego por goteo es un tipo de riego localizado de alta frecuencia mediante el cual se distribuye el agua a la zona radicular de las plantas por medio de unos emisores especiales llamados goteros distribuidos a lo largo de microtuberías de material flexible. Al humedecer sólo el volumen de suelo donde se localizan las raíces, la frecuencia de riego debe aumentar para satisfacer totalmente las necesidades de riego del cultivo.

Características del riego por goteo

Menores pérdidas por evapotranspiración. Debido a que se moja sólo una pequeña porción de la superficie del suelo, las pérdidas por evaporación son menores. Esta reducción de la evaporación directa se compensa en parte por un aumento de la transpiración del cultivo debido a la sequedad del follaje y consiguiente aumento de la temperatura.

Aumento de la concentración de raíces. El sistema radicular de la planta se concentra en el volumen de suelo humedecido sin provocar una disminución de la producción.

Formación del bulbo húmedo. Debajo de cada emisor el agua se distribuye por el

suelo horizontal y verticalmente ocupando un volumen con forma de bulbo. Este bulbo adoptará una forma alargada verticalmente en el caso de suelos arenosos por la atracción que sobre el agua ejerce la fuerza de la gravedad, y será alargado horizontalmente en los suelos arcillosos debido a una mayor movilidad horizontal del agua por capilaridad. A igual volumen de agua descargada por el gotero, el tamaño del bulbo húmedo también va a depender de la textura debido a las diferentes capacidades de retención de agua por cada tipo de textura.

Mayor aireación del suelo. Debido a que no se humedece la totalidad del suelo, el cultivo no sufre problemas de saturación y asfixia radicular.

Riego por goteo en remolacha.





Sistema enrollador de tubería para riego por goteo.

Salinidad. En el riego por goteo, la humedad permanece alta dentro del bulbo mientras el nivel de salinidad se mantiene bajo. Este hecho permite el empleo de aguas con mayor concentración de sal que con otros métodos de riego. No obstante, la concentración de sales va aumentando hacia la periferia del bulbo, llegando a formarse una barrera para el desarrollo de las raíces. Este proceso se manifiesta en la superficie del suelo en forma de una corona blanquecina de sales.

Fertilización. En el riego por goteo, el sistema radicular se localiza casi en su totalidad dentro del bulbo húmedo, por lo que para hacer llegar los compuestos fertilizantes a la planta lo más indicado es hacerlo a través del propio sistema de riego. Aplicando los abonos disueltos en el agua de riego conseguimos localizar el fertilizante dentro del bulbo húmedo.

Componentes del riego por goteo

Los componentes de una instalación de riego por goteo son los siguientes:

- Estación de bombeo.
- Cabezal de riego:
 - Sistema de tratamiento del agua.
 - Filtros de arena y de malla.
 - Sistema de incorporación de fertilizantes.
 - Contadores volumétricos.
 - Reguladores de presión.
- Red de distribución: tuberías de transporte y distribución.
- Emisores: goteros, rociadores, microaspersores, emisores de manguito, etc..
- Dispositivos de control: válvulas reguladoras.





Estación de filtrado en una instalación de riego por goteo.

Ventajas e inconvenientes del sistema

Ventajas:

- Ahorro de agua respecto a otros sistemas de riego debido a que se humedece sólo una pequeña porción de la superficie del suelo. Con ello se evita también la proliferación de malas hierbas que competirían con el cultivo por la humedad del suelo.
- Facilidad de dosificación, por tratarse de un riego individualizado planta por planta.
- El agua de riego no transporta semillas de malas hierbas gracias al filtrado casi perfecto.
- Permite la aplicación localizada de abonos disueltos en el agua de riego.

Inconvenientes:

- Elevado coste de instalación.
- Manejo complicado, sobre todo en el momento de instalación y retirada.
- La densa red de tuberías supone un gran obstáculo para las labores de cultivo.
- La calidad del agua debe ser buena, pues no permite el lavado de sales a capas profundas.
- Las aguas calizas provocan incrustaciones que deben ser eliminadas regularmente con ácidos.
- Necesita filtrar el agua en varias etapas para evitar la obstrucción de los emisores.

En los ensayos de campo realizados por AIMCRA se ha constatado que el ahorro en energía y en volumen de agua aplicada no compensa el mayor coste del sistema ni las dificultades en el manejo.



Conductos terminales de distribución del agua en riego por goteo.

1.4. COSTES DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE RIEGO

En este apartado se expone un breve estudio comparativo de costes entre los cinco sistemas de riego más utilizados en las explotaciones remolacheras: sistema de cobertura total superficial, de aluminio, polietileno (PE) y de PVC, sistema de pivot central (círculo completo y sectorial), pivot multicentro y pivot lateral (hipódromo exterior e hipódromo interior). Para realizarlo se han consultado varias casas comerciales. En ningún caso se incluye el IVA.

Las condiciones comunes de partida para todos los sistemas son las siguientes:

- Parcela rectangular de 600 x 400 m (24 ha).
- Topografía prácticamente llana.
- Suelos de textura media sin problemas de drenaje.
- Extracción del agua de una perforación de 200 m de profundidad, con el nivel dinámico a 70 m y un caudal instantáneo de 25 l/s.

TABLA Nº 2: Costes orientativos de las distintas instalaciones de riego por aspersión en función de las hectáreas regadas.

TIPO DE INSTALACIÓN	PRECIO ORIENTATIVO	
Cobertura de PE con aspersor convencional (24 ha)	250.000 - 300.000	Ptas/ha
Cobertura total de aluminio (24 ha)	370.000 - 450.000	Ptas/ha
Cobertura total de PVC (24 ha)	340.000 - 380.000	Ptas/ha
Pivot central a círculo completo (13,8 ha)	470.000 - 530.000	Ptas/ha
Pivot central sectorial (18'2 ha)	440.000 - 490.000	Ptas/ha
Pivot multicentro (21'6 ha)	340.000 - 390.000	Ptas/ha
Pivot lateral parcela completa (24 ha)	375.000 - 440.000	Ptas/ha
Pivot lateral hipódromo exterior (21'7 ha)	365.000 - 430.000	Ptas/ha

1.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FUENTES YAGÜE, J.L.; CRUZ ROCHE, J. (1990): "Curso elemental de riego". Ed. MAPA. Madrid. Pág. 237.

GÓMEZ POMPA, P. (1988): "Riegos a presión, aspersión y goteo". Ed. AEDOS. Pág. 332.

MONTERO, J.; ORTEGA, J.F.; HONRUBIA, F.T.; ORTIZ, J.; VALIENTE, M. y TARJUELO, J.M. (2000): "El riego de la remolacha azucarera en Castilla y León". Capítulo 2: "Recomendaciones para un adecuado diseño y manejo de los sistemas de riego por aspersión". Ed. Caja Duero. Coordinado por AIMCRA.

Revistas "AIMCRA" nº 44 (marzo 95) y nº

49 (enero 96).

SAYALERO, L.M. (2000): "El riego de la remolacha azucarera en Castilla y León". Capítulo 3: "Nuevos sistemas de riego por aspersión". Ed. Caja Duero. Coordinado por AIMCRA.

TARJUELO, J.M. (1995): "El riego por aspersión y su tecnología". Ed. Mundi-Prensa. Pág. 491.

2. Agronomía del riego

Dado que el objetivo del riego es mantener en el suelo unos niveles de humedad que permitan a la remolacha crecer sin limitaciones y obtener los rendimientos óptimos, en este apartado se analizarán todos los aspectos que relacionan el riego con el desarrollo de la remolacha.

El agua es un elemento esencial en la fisiología de la remolacha, siendo fundamental para la absorción de nutrientes del suelo, para el transporte de nutrientes en la planta y por su intervención en los procesos fisiológicos fundamentales: transpiración, fotosíntesis, etc., siendo por tanto necesario conocer su sistema de consumo para que no sea factor limitante en la producción. La frecuencia de riego y el efecto de la falta de agua (estrés hídrico) en diferentes fases del cultivo también se analizan en este apartado.

2.1. NECESIDADES DE AGUA DE LA REMOLACHA

La evapotranspiración

La planta absorbe agua del suelo y la emite en forma de vapor a la atmósfera en el proceso denominado *transpiración* (T); a su vez, el suelo emite vapor a la atmósfera en el proceso de *evaporación* (E). La pérdida total de agua del conjunto suelo-planta en forma de vapor en los procesos de evaporación y transpiración se denomina *evapotranspiración* (ET). Estas pérdidas de vapor son mayores cuanto mayor es la temperatura, más fuerte es el viento, más seco es el aire, etc.. Ambos procesos se ven afectados por la demanda evaporativa de la atmósfera, por la cantidad de agua disponible en el suelo y

por la naturaleza del suelo y las características de la cubierta vegetal.

Cuando el cultivo está estableciéndose en el terreno, la componente dominante en la ET es la evaporación (E); a medida que el cultivo crece, desarrolla mayor superficie foliar y cubre más terreno, aumenta la componente transpiración (T), y a su vez disminuye la E por sombreado del suelo, llegando la T a suponer un 90-95% del total de la ET.

En la práctica, se analiza la ET como un consumo o gasto de agua por el cultivo (conjunto suelo y planta) para así simpli-



ficar el análisis de dicho fenómeno.

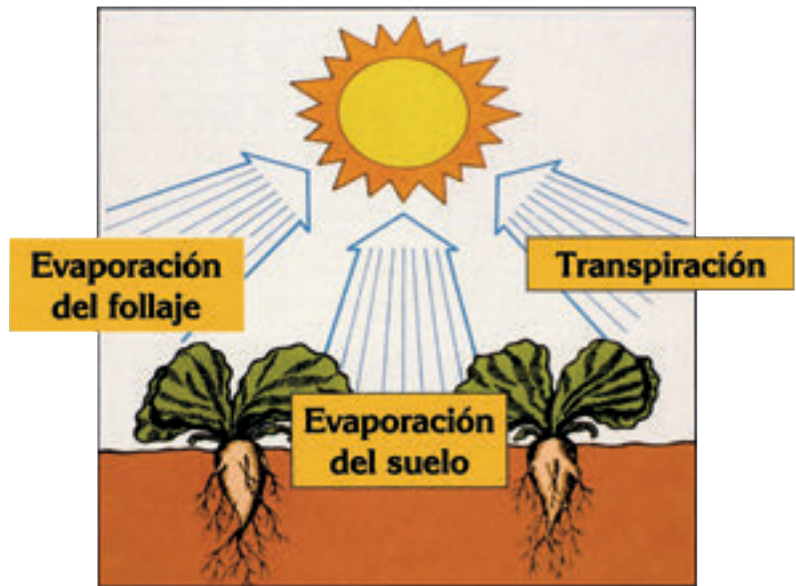
Los factores de los que depende la ET de una superficie con cubierta vegetal son:

- factores climatológicos (radiación, temperatura, humedad del aire, velocidad del viento, etc.)
- el agua disponible en el suelo por aporte externo (riego, lluvia, etc.)
- factores de la planta (conductibilidad hídrica de los tejidos, índice de área foliar, profundidad y densidad del sistema radicular, etc.)
- factores edáficos (conductibilidad hídrica, profundidad efectiva, capacidad de almacenamiento hídrico, etc.)
- factores fitotécnicos (laboreo del suelo, rotación de cultivos, orientación de las líneas de siembra, densidad de población, etc.)
- factores geográficos (extensión del área, variación de las características climáticas en el borde del área considerada, etc.)

Las necesidades de agua de la remolacha, o lo que es lo mismo, la ET de la remolacha, es posible medirla directamente mediante sistemas sofisticados (lisímetros), pero lo habitual es valorar el consumo de la remolacha mediante su estimación por diferentes métodos, bien en base a medición de evaporaciones, o bien mediante fórmulas empíricas.

A la hora de obtener las estimaciones de ET, es preciso considerar dos conceptos de evapotranspiración:

- La evapotranspiración máxima** (ET_m) de un cultivo se define como la cantidad máxima de agua que es susceptible de evaporar cuando se encuentra ubicado bajo buenas condiciones de disponibilidad hídrica y en un suelo próximo a su capacidad de campo. Depende del grado de cobertura del suelo por parte del cultivo y del estado de su ciclo biológico (etapa de crecimiento, etapa intermedia, etapa de maduración, etc.). Se puede definir también la evapotranspiración máxima como la ET de un cultivo específico en condiciones de densidad y de fertilización de suelo óptimas, que crece y se desarrolla en



un suelo bien provisionado de agua (de forma que ésta no se constituya en un factor limitante de su intensidad de crecimiento), ubicado bajo condiciones advectivas despreciables y en las condiciones climáticas habituales de la región considerada.

Evapotranspiración.

- La evapotranspiración de referencia** (ET_o) se define como la tasa de ET de una extensa superficie cultivada con gramíneas pratenses perennes de altura uniforme, entre 8 y 15 cm., en crecimiento activo, que sombrea completamente el suelo y se encuentra bien provisionada de agua.

La forma habitual de operar es realizar una estimación de la ET_o y, según el estado de crecimiento del cultivo, calcular la ET_m.

Medidas de la evapotranspiración: lisímetros

Un lisímetro es un instrumento que se utiliza para realizar la medición directa de la evapotranspiración de un cultivo en desarrollo, una cubierta vegetal de referencia o la evaporación del suelo desnudo. Existen principalmente dos tipos de lisímetros: el de pesada y el evaporímetro volumétrico.

El **lisímetro de pesada** consiste en un recipiente de gran tamaño lleno de tierra sobre la que se implanta el cultivo que se pretende estudiar, con un dispositivo que



Componentes del balance hídrico del suelo.

le permite determinar la variación de peso a lo largo del tiempo. La parte superior del recipiente permanece al ras del suelo rodeado del mismo cultivo que contiene y en sus mismas condiciones (ver figura). Mediante pesadas periódicas y la recogida del agua de drenaje, se determina el agua de evapotranspiración en un determinado intervalo de tiempo. Igualmente se debe considerar el peso de la biomasa acumulada sobre el recipiente. El peso del lisímetro en un momento dado viene dado por la siguiente expresión:

$$P_m = P_i + P_b - ET - D + R + Pr$$

Siendo:

P_m = peso del lisímetro en un momento dado.

P_i = peso inicial.

P_b = peso de la biomasa.

ET = evapotranspiración.

D = agua de drenaje recogida.

R = volumen de agua aplicado mediante el riego.

Pr = volumen de agua aportado por precipitación.

El **evaporímetro volumétrico** permite determinar la evapotranspiración de una cubierta vegetal midiendo el agua que

percola a través del suelo por medio de una cámara de drenaje y la variación del contenido de humedad del suelo:

$$ET = R + Pr - D \pm HS$$

Siendo:

ET = evapotranspiración del cultivo.

R = volumen de agua aportado mediante el riego.

Pr = volumen de precipitación.

D = agua de drenaje.

HS = incremento de la humedad del suelo.

El lisímetro es, sin duda, el mejor sistema para conocer la ET de un cultivo en unas condiciones determinadas, por lo que se emplean para calibrar otros métodos.

Métodos de cálculo para la estimación de la evapotranspiración de referencia

Como ya se ha mencionado, el conocimiento de la ET_o es fundamental para la realización de una correcta programación del riego. Pero los aparatos de medición directa de la ET (lisímetros) son excesivamente caros, lo que hace que su uso se limite sólo a la investigación.

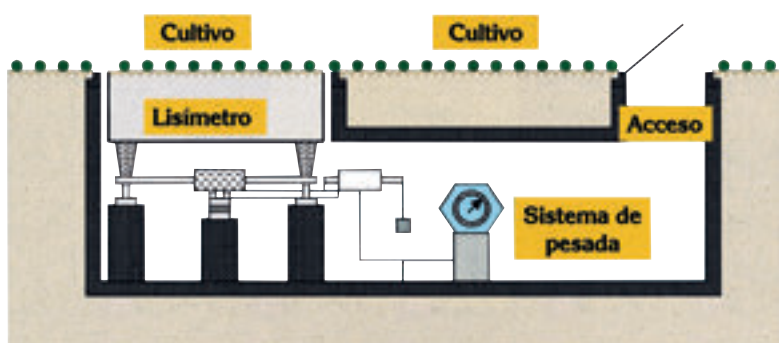
La medida de la ET se puede realizar de modo indirecto mediante métodos micrometeorológicos basados en diferentes modelos de cálculo empíricos, mediante balance hídrico del suelo, con diferentes sistemas de medición de la humedad del suelo (gravimétrico, tensiómetros, sonda, etc.) o mediante métodos fisiológicos, requiriendo costosos equipos instrumentales. En sustitución, lo habitual es calcular la ET mediante la medida o estimación de la ET_o y, en función del estado de la remolacha, aplicar un coeficiente de cultivo.

Existen numerosos métodos de estimación de la ET_o , pero los que se consideran de mayor interés son los que desarrollamos a continuación:

a) Evaporímetro de Clase A

El evaporímetro de cubeta de Clase A nos permite medir los efectos integrados de la radiación, el viento, la temperatura y la humedad en función de la evaporación de una superficie de agua libre. De un modo análogo, la planta responde a las mismas variables climáticas, aunque habría que considerar los efectos de determinados factores (capacidad de reflexión de la radiación, almacenamiento diurno de calor, turbulencias de aire, etc.).

Figura n.º 1: Esquema de un lisímetro de pesada.





Descripción del evaporímetro

Se trata de un depósito circular que tiene un diámetro de 121 cm y una profundidad de 25,5 cm. Está fabricado con chapa de hierro galvanizado o acero inoxidable de 2 mm de espesor. Se monta sobre una plataforma de madera abierta, quedando el fondo a 15 cm sobre el nivel de la tierra. Se llena con agua hasta 5 cm del borde superior y el nivel del agua no debe bajar a más de 7,5 cm con respecto a ese borde. Se renueva regularmente el agua para eliminar la turbidez (cada 15 días aproximadamente), agregándose una pequeña cantidad de lejía para evitar la proliferación de algas.

Coeficientes de tanque

La evaporación directa del tanque (E_T) y la evapotranspiración de un cultivo de referencia (E_{To}) se relacionan mediante el coeficiente del tanque (K_T) (ver tabla n° 3).

$$E_{To} = E_T \cdot K_T$$

Evaporímetro de clase A y medición.

TABLA N° 3: Valores del coeficiente KT para distintas condiciones de humedad, viento y medio circundante.

CUBETA CLASE A	CASO A CUBETA RODEADA DE CUBIERTA VERDE BAJA				CASO B CUBETA CON BARBECHO DE SECANO			
	DISTANCIA A BARLOVENTO DE LA CUBIERTA VERDE (M)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (EN %)			DISTANCIA A BARLOVENTO DEL BARBECHO DE SECANO(M)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (EN %)		
		BAJA <40	MEDIA 40-70	ALTA >70		BAJA <40	MEDIA 40-70	ALTA >70
Débiles <175 <2	0	0.55	0.65	0.75	0	0.70	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70
Moderados 175-425 2-5	0	0.50	0.60	0.65	0	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
Fuertes 425-700 5-8	0	0.45	0.50	0.60	0	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.65	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.50	0.60
	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.40	0.45	0.55
Muy fuertes >700 >8	0	0.40	0.45	0.50	0	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.35	0.40	0.45

Recientemente, Raghuwanshi y Wallender han propuesto la siguiente expresión para determinar el valor del coeficiente de tanque:

$$K_T = \frac{0.5944 + 0.0242X_1 + 0.0583X_2 - 0.1333X_3 - 0.2083X_4 + 0.0812X_5 + 0.1344X_6}{100}$$

Siendo:

X1 = distancia a la cubierta vegetal en metros.

X2 = 0 si velocidad de viento (V) <175 km/día, 1 en caso contrario.

X3 = 0 si 425 < V <700 km/día, 1 en caso contrario.

X4 = 0 si V > 700 km/día, 1 en caso contrario.

X5 = 0 si humedad relativa (HR) < 40%, 1 si HR > 40%.

X6 = 0 si HR < 70%, 1 si HR > 70%.

El tanque deberá situarse en un medio abierto, con unos cultivos que no tengan más de 1 m de altura en un radio de 50 m. Si el tanque está rodeado por cultivos altos (p.e. maíz) puede ser necesario aumentar el coeficiente hasta un 30% en el caso de climas ventosos y secos, y de 5 a 10% cuando se trata de condiciones húmedas sin viento.

En las zonas de desarrollo agrícola nulo y

zonas muy extensas de suelos desnudos, se deberán reducir hasta un 20% los valores de KT en el caso B para zonas áridas y ventosas. En el caso de vientos moderados, se reducirá la KT entre un 5 y un 10%.

La turbidez del agua del tanque no repercute en la evaporación en más de un 5%. Cuando el nivel del agua desciende 10 cm por debajo del nivel aceptado, se puede cometer un error de hasta un 15%. La malla montada sobre la cubeta para evitar que los animales beban el agua puede reducir la evaporación hasta un 10%.

b) Método micrometeorológico de Penman-Monteith

Es un método empírico basado en la medida de algunos parámetros climatológicos, que mediante fórmulas matemáticas estima la ETo. Sobre la base de esos parámetros climatológicos se realiza el estudio combinado del balance energético y de intercambio de vapor entre la atmósfera y el cultivo. Es el método recomendado por la FAO.

Este método necesita para su aplicación datos de temperatura, humedad relativa, radiación solar (horas de sol), velocidad del viento, rugosidad de la superficie evaporante, altura de la cubierta vegetal, etc.. Su complejidad obliga a la utilización de programas informáticos para la realización de los cálculos (CROPWAT, ETO, DAILYET, REF-ET, etc.).

c) Método de Hargreaves

Hargreave desarrolló un método muy simple para el cálculo de la ETo, basado en las temperaturas máximas y mínimas, según la siguiente expresión:

$$ETo \text{ (mm/día)} = 0.0023 \cdot Ra \cdot (Tmáx - Tmín)^{1/2} \cdot (Tmed + 17.8)$$

Donde:

Tmáx = temperatura máxima del aire.

Tmín = temperatura mínima del aire.

Tmed = temperatura media = (Tmáx + Tmín)/2

Ra = radiación que llega al topo de la atmósfera expresada en mm/día, constante para cada lugar en un determinado día del año; depende de la latitud.

En la tabla siguiente se indican los valores mensuales de Ra para distintas latitudes.



Estación agrometeorológica a pie de parcela.

Tabla nº 4: Radiación extraterrestre (Ra) expresada en unidades equivalentes de evaporación (mm/día) en función de la latitud.

LAT	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC
44	5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7
42	5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2
40	6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7
38	6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1
36	7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6

d) Método de Blaney-Criddle

El método de Blaney-Criddle se basa en una simple ecuación, cuyas variables son la temperatura y el porcentaje de horas diurnas, con la que se obtiene el factor de uso consuntivo:

$$F = P \cdot (0'46 \cdot T + 8'13)$$

Siendo:

F = factor de uso consuntivo.

P = porcentaje de horas diurnas anuales del periodo considerado.

T = temperatura media del periodo en °C.

Para obtener la ETo mínima diaria se debe aplicar un coeficiente de uso consuntivo del cultivo (K), determinado empíricamente para cada zona. Este coeficiente está en función de los valores predominantes de tres factores: la humedad relativa mínima, la relación entre las horas reales y máximas de insolación, y los vientos diurnos. Este método no debe aplicarse para periodos inferiores al mes, y se deben poder comprobar las condiciones meteorológicas predominantes de los factores mencionados.

e) Método de Radiación

El método de radiación predice los efectos del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos en base a datos sobre la radiación y la temperatura del aire. Además requiere datos generales de humedad relativa y viento. En este método se sugiere una relación del siguiente tipo:

$$ET_o = a + b \cdot W \cdot R_s$$

Siendo:

ETo = la evapotranspiración de un cultivo de referencia.

Rs = radiación solar expresada en equivalente de evaporación (mm/día).

W = índice de ponderación, dependiente de la temperatura y de la altitud.

a, b = son coeficientes tabulados.



Coeficiente de cultivo

En ellas se distinguen las siguientes etapas:

- 1. Etapa de establecimiento:** abarca la germinación, nascencia y estados iniciales del cultivo, cuando el porcentaje de cubrición es pequeño. En esta fase domina la evaporación frente a la transpiración. Su duración es aproximadamente de 50 días en la siembra temprana y 26 días en la siembra tardía.
- 2. Etapa de crecimiento vegetativo rápido:** transcurre desde la fase anterior hasta que el cultivo cubre totalmente el terreno y alcanza el mayor desarrollo vegetativo. Su duración es de 61 días en siembra temprana y de 51 en siembra tardía.
- 3. Fase intermedia o de mediados de ciclo:** abarca desde que el cultivo alcanza su máximo desarrollo hasta que se alcanza la senescencia foliar o comienzan las variaciones de color en las hojas. Su duración aproximada es de 60 días.
- 4. Fase final o de madurez:** se extiende desde el final de la fase intermedia hasta que se alcanza la madurez de la remolacha. Depende del momento de la recolección, pero su duración suele ser de 61- 68 días para una recolección a primeros de noviembre.

Las etapas anteriores son difíciles de diferenciar en la práctica debido al desarrollo continuo del cultivo, sin mostrar signos evidentes como ocurre con otros cultivos (floración, formación del fruto, etc.)

Las estimaciones de la ET calculadas con estos coeficientes de cultivo son para condiciones óptimas y sin limitación en los diferentes factores de cultivo incluyendo el agua (ETm).

Medidor de radiación solar fotosintéticamente activa.



Anotación de registros.

ET de la remolacha

a) Siembra primaveral

En base al método de Penman-Monteith, y utilizando los datos medios de 30 años (1961-1990), se ha calculado la ET_c de la remolacha para cada una de las provincias más remolacheras, tanto de siembra primaveral como otoñal. Los cálculos se han realizado con el programa CROPWAT (desarrollado por FAO) para dos fechas de siembra. Los resultados se recogen en los siguientes cuadros.

Remolacha primaveral siembra tardía (después del 15 de marzo)

PROVINCIA	MAYO*	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	TOTAL
ÁVILA	45	129	179	158	108	619
BURGOS	40	117	164	144	98	563
LEÓN	45	128	174	151	100	598
PALENCIA	45	125	171	149	99	589
SALAMANCA	49	138	190	162	106	645
SEGOVIA	43	122	170	147	97	579
SORIA	53	132	165	141	88	579
VALLADOLID	50	143	197	176	116	682
ZAMORA	50	143	197	168	113	671
ÁLAVA	47	134	176	155	108	620
LA RIOJA	47	134	176	155	108	620
ALBACETE	33	79	152	169	117	550
CIUDA DREAL	37	90	176	195	136	634

Tabla nº 5: Evapotranspiración del cultivo de la remolacha (ET_c) por meses para las principales provincias remolacheras de siembra primaveral. Siembra temprana.

Remolacha primaveral siembra temprana (antes del 15 de marzo)

PROVINCIA	MAYO*	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	TOTAL
ÁVILA	57	140	179	158	102	636
BURGOS	50	127	164	143	91	575
LEÓN	57	140	174	150	94	615
PALENCIA	55	138	171	148	92	604
SALAMANCA	61	150	189	166	108	674
SEGOVIA	54	133	170	147	91	595
SORIA	42	121	165	142	94	565
VALLADOLID	62	155	197	175	109	698
ZAMORA	63	156	197	167	106	689
ÁLAVA	59	145	176	155	100	635
LA RIOJA	59	145	176	155	100	635
ALBACETE	48	130	192	171	112	653
CIUDAD REAL	53	147	223	197	132	752

Tabla nº 6: Evapotranspiración del cultivo de la remolacha (ETc) por meses para las principales provincias remolacheras de siembra primaveral. Siembra tardía.

a) Siembra otoñal
Remolacha otoñal siembra temprana (antes del 30 de octubre)

PROVINCIA	FEBRERO*	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO*	TOTAL
CÁDIZ	40	84	115	143	105	487
CÓRDOBA	38	85	106	128	91	448
JAEN	45	93	121	149	109	517
SEVILLA	38	83	115	144	106	486
BADAJOS	40	84	115	143	105	487

Tabla nº 7: Evapotranspiración del cultivo de la remolacha (ETc) por meses para las principales provincias remolacheras de siembra otoñal. Siembra temprana.

Remolacha otoñal siembra tardía (después del 30 de octubre)

PROVINCIA	FEBRERO*	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	TOTAL
CÁDIZ	30	80	116	158	185	569
CÓRDOBA	29	81	109	140	158	517
JAEN	33	89	122	164	191	599
SEVILLA	28	80	116	158	187	569
BADAJOS	30	80	116	158	185	569

Tabla nº 8: Evapotranspiración del cultivo de la remolacha (ETc) por meses para las principales provincias remolacheras de siembra otoñal. Siembra tardía.

2.2. PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

2.2.1. La programación del riego

La programación del riego responde a las cuestiones planteadas en la introducción mediante la determinación de todos los elementos que definen el riego: periodo de riego, volumen o dosis de riego, frecuencia de riego, etc..

La programación de riego ha de tener en cuenta diversos factores relacionados con el mismo: suelo, cultivo, clima, sistema de riego, etc.. La programación de riego debe ser una metodología que permita decidir cuándo regar y qué dosis de riego aplicar a la remolacha para cubrir los consumos. El objetivo de la programación de riego puede ser definido según los criterios que primen a la hora de realizarla. Los criterios más utilizados son:

- Maximizar la producción por unidad de superficie regada.
- Maximizar la producción por unidad de agua aplicada.
- Maximizar el beneficio de la explotación agrícola.
- Ahorrar o minimizar las necesidades energéticas.

Existen una gran variedad de métodos de programación, desde el agricultor que riega basándose en su experiencia hasta los métodos más sofisticados que requieren instrumentación y un alto nivel

de preparación técnica. Se pueden agrupar de la siguiente manera:

- Métodos de programación basados en el estado hídrico del suelo:** Se realizan medidas del estado de humedad del suelo con distintos aparatos estableciéndose el momento de regar en base al mismo. Algunos de ellos son: sonda de neutrones, TDR, resistencias eléctricas y tensiómetros. El tensiómetro



Tensiómetro.

es un método práctico basado en la medida de la tensión con que el agua es retenida por el suelo; su rango de medida es de 0 a 0'8 bar. Estudios en remolacha revelan que el momento óptimo del riego se produce cuando el tensiómetro, instalado a 30 cm de profundidad, alcanza el valor de 45 cb (J.M. Arroyo, comunicación personal, 2000).

- Métodos basados en el estado hídrico de la planta:** Se realizan medidas en la planta y se determina el momento de regar. Se mide la tensión en hojas (cámara de presión), la temperatura de la cubierta del cultivo (pistola de infrarrojos), etc.

- Métodos basados en el estado hídrico del conjunto suelo-planta-atmósfera:** Estos métodos tienen en cuenta tanto el estado de la atmósfera como el del suelo como el de la planta, estableciendo un balance hídrico conjunto en el cual se evalúan las pérdidas y las ganancias de agua con el fin de establecer las necesidades de riego. El más utilizado es el método del **balance hídrico**, recomendado por AIMCRA, que tiene en cuenta, a la hora de calcular las necesidades netas de riego, las entradas (lluvias y riegos) y las salidas (ET, fundamentalmente).

Pistola de infrarrojos.



Al conjunto de fechas y dosis de riego a lo largo de una campaña se conoce como **calendario de riegos**. El calendario medio de riegos para un cultivo en una lo-

calidad concreta es aquel que satisface la demanda de ET en el año promedio, lo cual permite al regante planificar sus riegos de forma aproximada para toda la campaña. Si se dispone de medios para programar el riego en función de las condiciones climáticas reales a lo largo de la campaña, podemos realizar la llamada programación de riegos en “tiempo real”.

La frecuencia del balance puede ser diaria, semanal o intermedia, aunque adoptar una frecuencia muy alta supondría asumir un mayor error en las estimaciones de los consumos.

En cada balance partimos de un nivel inicial (coincidente con el nivel final del anterior balance) al cual le restamos los consumos de los días considerados y le sumamos los riegos y/o lluvias, si los hubiere, resultando el nivel de humedad final.

El suelo como almacén de agua y sus características

El suelo agrícola es capaz de almacenar un volumen de agua que va a ser utilizado por los cultivos para su desarrollo. Un manejo eficiente del riego por parte del agricultor requiere el conocimiento de esa capacidad de almacenamiento de sus suelos.

Todo suelo se compone principalmente de partículas minerales y poros llenos de aire y de agua en mayor o menor medida.

Cuando el agua ocupa la totalidad de los poros que existen en el suelo, decimos que se alcanza el **punto de saturación (PS)**.

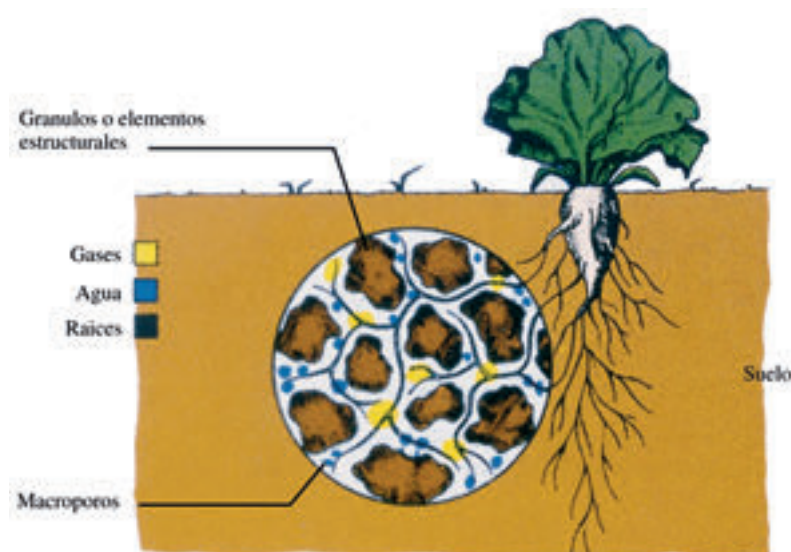
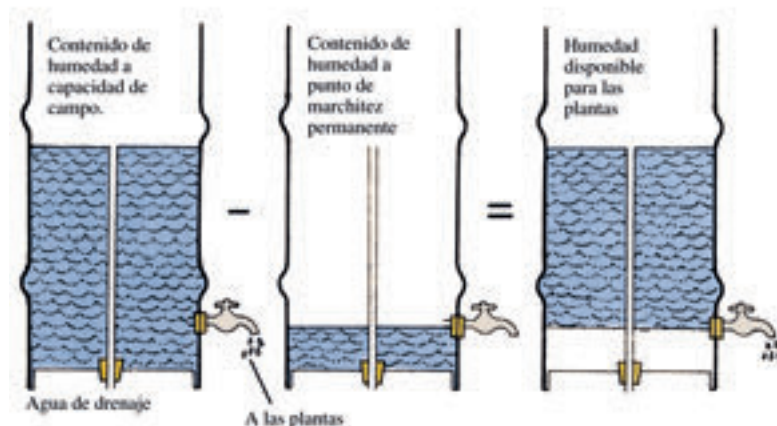
Al volumen de agua que queda en ese suelo después de haber drenado el agua de gravedad le llamamos **capacidad de campo (CC)**.

En ausencia de riegos y lluvia, el suelo va perdiendo humedad hasta alcanzar un punto por debajo del cual se produce la marchitez irreversible de las plantas. A ese límite del contenido de humedad en el suelo le conocemos como **punto de marchitez (PM)**.

Por lo tanto, podemos definir el **agua útil (AU)** como el volumen de agua que es capaz de almacenar un suelo y se encuentra plenamente a disponibilidad del cultivo.

$$AU = CC - PM$$

La dificultad de la planta para aprovechar este agua aumenta al acercarnos al punto de marchitez, por lo que, para evitar que el cultivo sufra estrés por este motivo, sólo se deja agotar un porcentaje (entre el 30 y el 65%) de este agua útil antes de volver a regar. Este esfuerzo se mide por la tensión con que está retenida el agua por el suelo. Las investigaciones realizadas por la Universidad Politécnica de Madrid han mostrado que el mayor rendimiento de la remolacha se alcanza cuando esta tensión, a una profundidad de 30 cm, no sobrepasa los 45 cb. Esta cifra equivale aproximadamente a agotar 35 mm del agua útil del suelo. En función del tipo de suelo supone agotar el 55 % del agua disponible en suelo arenoso, en tanto que en suelo arcilloso sería solamente el 10 % (ver tabla 9). Los suelos arcillosos con gran capacidad de almacenamiento también tienen un alto poder de retención. Los suelos arenosos,



con poca capacidad de almacenamiento tienen poco poder de retención. Las dosis de riego recomendadas para la zona norte y distintos tipos de suelo son las siguientes:

TIPO DE SUELO	DOSIS DE RIEGO (MM)
Arenoso	30
Franco- Arenoso	36
Franco- Limoso	42
Franco-arcillo Arenoso	44
Franco- Arcilloso	40
Arcilloso	38

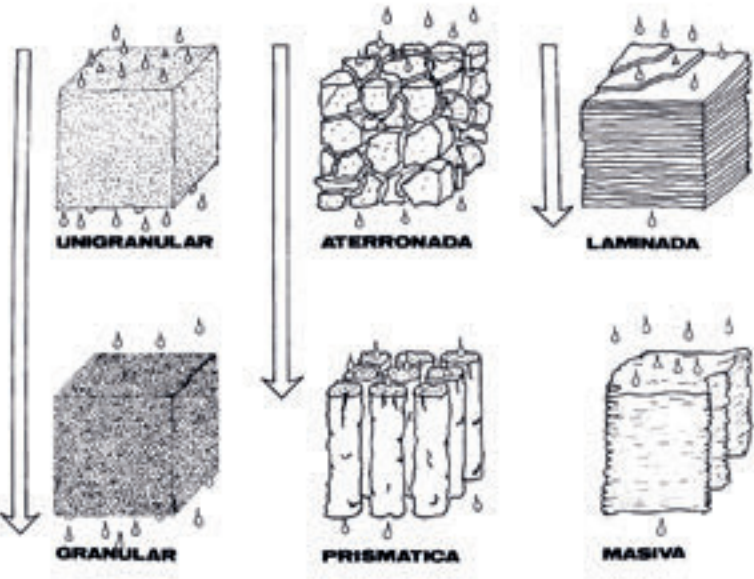
Tabla nº 9: Valores medios de la humedad en los suelos según texturas.

TEXTURA DEL SUELO	MM / M
Arenoso	62
Arenoso-franco	103
Arcillo-arenoso	136
Franco-arenoso	140
Franco-arcilloso	146
Franco	158
Arcillo-limoso y limo-arcilloso	177
Arcilloso	187
Limoso	192
Arcilloso fino	208

Encharcamiento del suelo causado por baja permeabilidad



La estructura del suelo condiciona su permeabilidad.



El agua que contiene el suelo está en continuo movimiento debido a fuerzas de gravedad, capilaridad y diferencias en las concentraciones de sales.

El agua que llega a la superficie del suelo penetra en él almacenándose en la zona de las raíces. Posteriormente, ese agua se va perdiendo por tres principales vías:

- 1.Absorción y transpiración de la planta.
- 2.Drenaje a zonas más profundas.
- 3.Evaporación en la superficie del suelo, hasta donde el agua asciende por capilaridad.

En relación con la movilidad del agua en el suelo, vamos a definir conceptos como

permeabilidad, infiltración, velocidad de infiltración y permeabilidad estabilizada:

A la facultad que posee un suelo para permitir el paso del agua a su través se le llama **permeabilidad**. Esta propiedad de los suelos depende del número de poros, de su tamaño y la continuidad de los mismos.

Al movimiento que experimenta el agua desde la superficie del suelo hacia abajo se le denomina **infiltración**. La cantidad de agua que se infiltra en el suelo por unidad de tiempo se conoce como **velocidad de infiltración**, que está directamente relacionada con la permeabilidad: a mayor permeabilidad mayor velocidad de infiltración.

Al comienzo del riego el agua penetra con rapidez en el suelo, pero la permeabilidad va disminuyendo progresivamente hasta que se estabiliza. El dato que más nos interesa de cara al riego es precisamente, el de la **permeabilidad estabilizada**, que no debe ser superada por la pluviometría del equipo de riego que estamos utilizando. En la capacidad de infiltración de un suelo influyen, además de la textura, la vegetación y la pendiente del terreno. En la tabla nº 10 se exponen los valores entre los que oscilan las velocidades de infiltración para las distintas texturas de suelo:

Tabla nº 10: Velocidades de infiltraciones según texturas

TEXTURA DEL SUELO	MM / H
Arenoso	12 - 25
Franco-arenoso	8 - 12
Franco	7 - 12
Franco-limoso	7 - 10
Franco-arcilloso	6 - 8
Arcilloso	2 - 5

Cuando la infiltración ha finalizado comienza un proceso que llamamos **redistribución** del agua en el suelo. Las capas superficiales son las que contienen inicialmente más humedad, que la van perdiendo en favor de otras más profundas hasta alcanzar cierto equilibrio. La redistribución del agua en el suelo es más o menos rápida dependiendo del tipo de suelo, de la profundidad inicial del suelo mojado y de la humedad de las capas más profundas, así como de la existencia

o no de estratos menos permeables.

Programación de riego por el método de balance hídrico en remolacha

El método consiste en realizar un balance de entradas y salidas de agua en el suelo que se puede resumir de la siguiente forma:

$$\text{Necesidades netas} = \text{riego} + \text{lluvia} - \text{ET} - \text{escorrentías} \pm \text{humedad del suelo}$$

Para la determinación de cada uno de estos componentes hay que partir de cierta información de los factores que influyen sobre los mismos, que pasamos a analizar a continuación:

- Datos de suelo:** se analiza la capacidad de almacenamiento del suelo, definida por su intervalo de humedad disponible (en mm/m), que es función de la textura, principalmente.
- Datos del cultivo:** es necesario conocer el estado del cultivo para calcular su ET a través del coeficiente de cultivo (Kc). Además, el estado vegetativo nos determina la profundidad radicular efectiva en un momento dado y se determina por la expresión:

$$Z_t = K_{ct} \cdot (Z_{m\acute{a}x} / K_{cm\acute{a}x})$$

Siendo:

Z_t = profundidad radicular efectiva en un momento t.

K_{ct} = coeficiente de cultivo en un momento t.

$Z_{m\acute{a}x}$ = profundidad radicular máxima que alcanza el cultivo.

$K_{cm\acute{a}x}$ = valor máximo del coeficiente de cultivo.

La profundidad radicular efectiva es variable hasta alcanzar la profundidad máxima. En remolacha y en riego por aspersión el riego se calcula para una profundidad de 30 cm., aunque el desarrollo radicular se estima en 90 - 100 cm. Del cultivo también depende el Nivel de Agotamiento Permitido (NAP), que permite establecer el valor límite dentro del IHD (Intervalo de Humedad Disponible) que optimiza el desarrollo del cultivo sin limitaciones.

- La precipitación:** en el cálculo del balance hay que tener en cuenta las precipitaciones que se producen, pues compensan la ET. Del total de la precipitación caída no toda ella es aprovechable, siendo necesario

calcular la **precipitación efectiva** mediante un factor de corrección que es función de la ET, del contenido de humedad del suelo, de la intensidad de la lluvia, velocidad de infiltración, etc.. El método más usado es el USDA, que corrige la precipitación en función de la intensidad de lluvia, la ET y el estado del suelo. Como factor general de corrección en esta zona suele usarse 0’8.

d. **Eficiencia de aplicación:** las necesidades calculadas por el método del balance hídrico son necesidades netas, pero el agricultor debe cubrir esas necesidades teniendo en cuenta que el sistema de riego tiene una eficiencia que depende del método de riego, del diseño, montaje y manejo, y de las condiciones de viento, humedad relativa, temperatura, etc.. Algunas de las eficiencias más utilizadas en remolacha son las que aparecen en la tabla nº 11.

Tabla nº 11: Eficiencia de los distintos sistemas de riego.

SISTEMAS DE RIEGO	EFICIENCIAS
SURCOS	0’40- 0’60
ASPERSIÓN	0’75 - 0’90
GOTEO	0’90 - 0’95

En riego por aspersión, con cobertura total se suele utilizar el coeficiente 0’8 como valor de eficiencia que permite una aplicación del riego aceptable.

La programación de riego en el Plan de Asesoramiento de Riego

Desde 1995, el “PLAN 97 para la tecnificación del cultivo de la remolacha” (hoy “Plan 2002”) está desarrollando un Plan de Asesoramiento de Riego (PAR) en diversas comarcas remolacheras con el propósito de optimizar el uso del agua de riego en este cultivo.

El asesoramiento sobre las necesidades de riego se está realizando en base a las recomendaciones de AIMCRA y de las Escuelas Superiores de Ingenieros Agrónomos de Madrid y Albacete.

El método de programación utilizado en el PAR es el del balance hídrico, calculando los consumos de agua del cultivo por medio del tanque evaporímetro de clase A, descrito anteriormente en este modelo de charla.

El PAR se inicia con la oportuna formación técnica de los agricultores con respecto al funcionamiento del método de programación que se va a llevar a cabo.

En cada zona de seguimiento del PAR existe un técnico que se encarga de determinar las necesidades de agua del cultivo y de transmitirles esta información a los agricultores vía prensa, tablón de anuncios, etc., con una periodicidad semanal. Estos técnicos se encuentran a disposición de los agricultores para atender cualquier consulta surgida sobre el método de riego y realizar evaluaciones de los equipos de riego por aspersión de sus zonas respectivas.

Siguiendo la programación de riego desarrollada en el PAR se consigue aplicar un volumen de riego óptimo para una producción máxima, con el consiguiente uso racional del preciado y escaso factor agua.

En las tablas 12 y 13 mostramos los modelos de estadillos utilizados en el PAR: por un lado el estadillo utilizado por los técnicos para el cálculo de necesidades de riego en base al tanque de clase A, y por otro el estadillo de balances utilizado por los agricultores para cada parcela de remolacha.

Tabla nº 12: estadillo utilizado por los técnicos del PAR para determinar los consumos de la remolacha.

DÍA	LECTURA ANTERIOR	LECTURA POSTERIOR	LLUVIA	ETT	KT	ETO	KC	ETC	ET

Tabla nº 13: estadillo utilizado por los agricultores en el PAR para seguir el balance de agua de cada una de sus parcelas de remolacha.

FECHA	NIVEL INICIAL	RIEGO	LLUVIA	CONSUMO	AGUA FACILMENTE DISPONIBLE

Asesoramiento de riego.
Estadillo de anotación.

Necesidades de riego de la remolacha

En la zona Norte se realizaron estudios de las necesidades de agua de la remolacha de siembra primaveral mediante la utilización del tanque evaporímetro para los meses de julio, agosto y septiembre con el método del balance hídrico. Según estos ensayos, las necesidades brutas de riego de la remolacha son los que se muestran en la tabla nº 14.

Tabla nº 14: Necesidades de riego bruto de la remolacha (tanque clase A)

PROVINCIA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	TOTAL
BURGOS	178	199	134	511
VALLADOLID	209	218	160	587

Por otra parte, se ha realizado un estudio de las necesidades de riego netas con elaboración de calendarios de riego medios en base al método de balance hídrico, utilizando la fórmula de Penman-Monteith con los datos climatológicos del treintenio 1961-1990, para cada una de las provincias de las distintas zonas remolacheras. Los cálculos se han realizado para un año pluviométrico medio con dos fechas de siembra distintas.

Los cuadros con los calendarios de riego resultantes de este estudio se incluyen en el anejo nº 2.



Divulgación de
necesidades de riego para
los agricultores.



2.3. RIEGOS DE NASCENCIA

En el momento de sembrar la remolacha es probable que dispongamos de un suelo en condiciones óptimas de humedad para producirse la germinación de las semillas y alcanzar la emergencia, pero no es lo habitual. Son mas frecuentes las condiciones de escasez de lluvias que nos obliguen a realizar riegos de nascencia para poder conseguir una temprana implantación del cultivo con una óptima densidad de plantas.

En ausencia de lluvias, los riegos de nascencia se deben aplicar tanto en el caso de siembra sobre suelo totalmente seco como en condiciones de suelo parcialmente húmedo.

Las dosis a aplicar en un primer riego de nascencia van a depender de la textura del suelo y de su estado de humedad. En siembra de primavera, en el caso de suelo totalmente seco se deben aplicar 25 mm en suelo fuerte, y entorno a 20 mm en suelo ligero. Si estas cantidades se

aportan en dos riegos consecutivos con un intervalo menor a 8 días se obtiene el mismo efecto. En siembra de otoño la cantidad de agua a aplicar debe ser de 35 mm.

Con posterioridad a este primer riego, debemos aplicar una serie de riegos cortos (5-10 mm) y frecuentes hasta conseguir el mayor porcentaje de nascencia y la definitiva implantación del cultivo. En los suelos lastros, con problemas de estructura, la frecuencia de riegos puede llegar a ser incluso diaria, con el fin de evitar la formación de una gruesa costra que impida la germinación de las plántulas.

En los riegos de nascencia aplicados mediante un sistema de aspersores deben evitarse las presiones bajas debido a que en estos casos la distribución del agua se efectúa con gotas de gran tamaño que destruyen la estructura superficial del suelo favoreciendo así la formación de costra.

2.4. MANEJO DEL RIEGO: INICIO Y CORTE DE RIEGO

Zona Norte. (T/100 a T/107) (F/22)

En el periodo 1992/1995 AIMCRA ha realizado en la zona Norte remolachera una serie de ensayos encaminados a determinar cuales son los momentos óptimos de iniciar el riego y de suspenderlo al final del ciclo para obtener la máxima producción.

Riego de nascencia.



a) Inicio del riego

El efecto en rendimiento del estrés hídrico producido al inicio del periodo de riego es función del estado de humedad del suelo, del tipo de textura, del estado del cultivo, del nivel de demanda evaporativa, etc. En general se parte de un suelo bien abastecido de humedad debido a las lluvias primaverales y/o riegos de nascencia e implantación. Partiendo de esta premisa, la respuesta al inicio del riego es diferente para un suelo ligero que para uno fuerte.

Inicio en suelo ligero

En suelo arenoso se producen pérdidas tanto en peso como en riqueza e IEA (Índice Económico Agricultor = Ingresos brutos en toneladas de 16°, gráfico nº 15) por el retraso en el inicio del riego con respecto a una situación óptima sin permitir que se agote el 50% del nivel de agua en el suelo (estrés nulo). Estas pérdidas se recogen en la tabla 15.

El ahorro de agua que se produce como consecuencia de retrasar el inicio del riego en suelo arenoso no compensa en ningún caso las pérdidas en el rendimiento final del cultivo. Se recomienda iniciar el riego 6-7 días después de la última lluvia fuerte o moderada, suficiente para asegurar un nivel de agua alto en el suelo. La dosis a aplicar en los primeros riegos dependerá, aparte de la textura, del estado de desarrollo de la remolacha.

Inicio en suelo fuerte

En los suelos arcillosos también se producen pérdidas en peso, riqueza e IEA (gráfico nº 16) como consecuencia del retraso del primer riego, aunque los plazos se alargan con respecto al suelo arenoso como consecuencia de la mayor capacidad de retención de agua por el suelo.

El ahorro de agua en el caso de suelos fuertes tampoco compensa las pérdidas producidas en recolección. En este caso se debe iniciar el riego 16 -17 días después de la última lluvia fuerte o moderada.

b) Corte del riego

Con el objeto de determinar el efecto en la producción de remolacha de la fecha del último riego y deducir el momento óptimo del mismo, así como su efecto sobre diferentes fechas de recolección, se han realizado una serie de ensayos cortando el riego en diferentes fechas, correspondiendo el corte más temprano a mediados de agosto, y realizando arranques en dos fechas distintas: primeros de octubre y primeros de noviembre.

Corte en suelo ligero

En suelo arenoso y para la recolección a primeros de octubre, al adelantar la fecha del último riego aumentan las pérdidas en peso y mejora la riqueza. El IEA óptimo se obtiene dando el último riego 16 días antes de la recolección. Las pérdidas respecto a la situación óptima se recogen en la tabla 17.

Para la recolección a primeros de noviembre el peso óptimo se obtiene dando el último riego 38 días antes de la recolección, y el IEA óptimo se obtiene regando por última vez 45 días antes de esta segunda fecha de recolección (gráfico nº 17). Al contrario que en la primera recolección, la riqueza disminuye a medida que se adelanta el último riego y se recolecta en noviembre.

TABLA Nº 15

DÍAS ENTRE ÚLTIMA LLUVIA Y PRIMER RIEGO	SUELO ARENOSO. PÉRDIDAS (%)		
	PESO	RIQUEZA	IEA
13	4.3	0.9	6.1
20	10.2	1.7	12.4
30	19.5	2.8	22.7
40	30.9	4.0	34.7

TABLA Nº 16

DÍAS ENTRE ÚLTIMA LLUVIA Y PRIMER RIEGO	SUELO ARCILLOSO. PÉRDIDAS (%)		
	PESO	RIQUEZA	IEA
30	7.8	0.5	8.0
40	16.3	1.6	17.4
50	24.4	2.6	27.1

TABLA Nº17

FECHA DE ÚLTIMO RIEGO	SUELO ARENOSO. PÉRDIDAS (%) 1ª RECOLECCIÓN		
	PESO	RIQUEZA	IEA
15 SEPTIEMBRE	3.4	+1.4	0.4
1 SEPTIEMBRE	12.2	+2.8	6.7
15 AGOSTO	34.9	+4.4	28.2

(+) significa que la riqueza aumenta

Valorando el ahorro de agua, como con-



TABLA N° 18

FECHA DE ÚLTIMO RIEGO	SUELO ARENOSO. PÉRDIDAS (%) 2ª RECOLECCIÓN		
	PESO	RIQUEZA	IEA
15 SEPTIEMBRE	4.6	-1.7	2.8
1 SEPTIEMBRE	13.0	-3.2	12.8
15 AGOSTO	34.4	-5.6	41.9

(-) significa que la riqueza disminuye

TABLA N° 19

FECHA DE ÚLTIMO RIEGO	SUELO ARCILLOSO. PÉRDIDAS (%) 1ª RECOLECCIÓN		
	PESO	RIQUEZA	IEA
15 SEPTIEMBRE	1.2	+0.3	0.4
1 SEPTIEMBRE	7.2	+0.6	3.8
15 AGOSTO	26.2	+1.2	19.3

(+) significa que la riqueza aumenta

TABLA N° 20

FECHA DE ÚLTIMO RIEGO	SUELO ARCILLOSO. PÉRDIDAS (%) 2ª RECOLECCIÓN		
	PESO	RIQUEZA	IEA
15 SEPTIEMBRE	2.3	+0.1	0.4
1 SEPTIEMBRE	8.2	+0.5	4.5
15 AGOSTO	15.6	+0.9	15.5

(+) significa que la riqueza aumenta

secuencia del adelanto del último riego, con precios del agua entre 0 y 25 pesetas/m³, la fecha óptima del último riego se adelanta en unos 6 días (gráfico n° 17).

Entre las dos recolecciones existe una diferencia promedio de un 20% en IEA a favor de la segunda recolección.

Corte en suelo fuerte

En suelo arcilloso, el IEA óptimo se obtiene dando el último riego 16 días antes de la recolección a primeros de octubre, y 50 días antes de la recolección a primeros de noviembre. Al adelantaren 15 días la fecha del último riego se produce una ligera reducción del peso, la riqueza aumenta levemente y el IEA se reduce también ligeramente (gráfico n° 18), tal como se aprecia en las tablas 19 y 20.

Al valorar el ahorro de agua entre 0 y 25 pesetas/m³ se adelanta la fecha en que se obtiene el IEA óptimo unos 5 días (gráfico n° 18).

También en suelo arcilloso se comprueba que la segunda recolección produce un promedio del 20% más que la primera recolección.

Zona Sur

a) Inicio del riego

Existe una creencia generalizada entre los agricultores de que el estrés de agua debido a la ausencia de riego en el momento de la implantación del cultivo aumenta la profundidad radicular y hace





que el cultivo resista mejor un posible estrés hídrico posterior. Esta creencia es equivocada, habiéndose demostrado que un estrés hídrico temprano, no solamente no aumenta la longitud radicular, sino que incluso la reduce.

En la zona remolachera de siembra otoñal se realizaron pruebas de campo para determinar el momento óptimo de iniciar el riego en función del nivel de agotamiento del agua disponible en el suelo. Los resultados obtenidos se representan en el gráfico n° 19.

El rendimiento en peso y riqueza disminuye, pues, cuando se retrasa el primer riego, al igual que ocurría en la siembra primaveral. Se puede ver como con un 25 % de agua consumida (retrasar el primer riego a mitad de marzo, en estos años de ensayo, aunque en años posteriores ha sido necesario regar incluso en el mes de enero) se reduce el potencial de cosecha.

Respecto a esta respuesta del cultivo al retraso del primer riego, se han sugerido diversas teorías, entre las que destacan las siguientes:

- La época de mayor eficiencia fotosintética y el comienzo de la acumulación de azúcar (Cavazza, 1988).
- La reducción de la ET y como consecuencia el descenso de la superficie foliar y de la fotosíntesis (De Malach, 1981).
- Reducción del volumen radicular (Brown et al, 1987).

b) Corte del riego

Resultados de ensayos recientes realizados por AIMCRA en condiciones de siembra de otoño, han mostrado que en un cultivo adecuado, sano y suficientemente abastecido de agua, con una riqueza media de 16 °, el intervalo óptimo entre el último riego y la recolección no debe superar los 10 días (ver gráfico n° 20).

2.5. EVALUACION EN CAMPO DE UN SISTEMA DE RIEGO

Las técnicas de evaluación y manejo de un sistema de riego permiten conocer los parámetros implicados en la aplicación del agua en base a ensayos de campo realizados bajo las condiciones normales de trabajo y determinar los cambios precisos para mejorar el proceso de riego. Con estos cambios se puede conseguir ahorrar agua, mano de obra, energía, etc., así como una mejora en los rendimientos del cultivo.

La evaluación realizada en un conjunto de sistemas de riego puede servir además para establecer los criterios de elección del sistema más adecuado a las condiciones de cada zona regable.

Para realizar los ensayos de evaluación debe seleccionarse previamente un lugar representativo de las condiciones medias

de la parcela y realizar el riego cuando el suelo se encuentre en unas condiciones de humedad similares a las que preceden a un riego normal.

En riego por aspersión, el ensayo de evaluación consiste básicamente en colocar una red de pluviómetros en el campo, entre dos líneas o ramales, y medir las principales variables que intervienen en el proceso de riego, como son el tipo de aspersor, diámetro de las boquillas, presión de trabajo, tiempo de riego, volumen de agua recogida en cada pluviómetro, marco de riego, disposición de los aspersores en el marco, dirección y velocidad del viento, etc. La distancia entre pluviómetros dentro de la red suele ser de 2 ó 3 m, con un tiempo de evaluación mínimo de una hora para aspersores de tipo medio.

Medición de caudal en un riego a pie.



Coefficiente de uniformidad de Christiansen (CUC)

Es el principal parámetro de los procedimientos de evaluación en campo, que nos muestra una representación estadística de la uniformidad de distribución, y es utilizado principalmente en los sistemas de riego por aspersión.

Se calcula mediante la expresión:

$$CUC (\%) = \left(1 - \frac{\sum |d|}{M \cdot n} \right) \cdot 100$$

Siendo:

M = valor medio del agua recogida en los pluviómetros.

n = número total de pluviómetros.

$\sum |d|$ = Suma de los valores absolutos de las desviaciones de cada pluviómetro respecto a la media.

Para la determinación del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) y de otros parámetros que caracterizan el reparto de agua en superficie, es necesario conocer los datos obtenidos en una red de pluviómetros bajo el campo de acción del sistema de aspersores.

La mayor parte de los cultivos extensivos de regadío requieren un valor mínimo de CUC = 80% en el sistema de aspersores para considerarlo aceptable. Valores bajos de CUC son indicadores normalmente de una incorrecta combinación del número y tamaño de boquillas, presión de trabajo y marco de riego. A continuación se detalla como realizar una evaluación de riego por cobertura o pivote.

Evaluación de una cobertura de riego

1. Material necesario

- Manómetro de aguja de glicerina, graduado de 0 a 6 bar con un tubo de pitot acoplado.
- Cronómetro con una precisión de 1/100 segundos.
- Depósito de volumen conocido de 10 a 20 l.
- Dos mangueras flexibles de 20 mm y 2.5 m de longitud.
- De 50 a 100 pluviómetros.
- Probetas graduadas en unidades de 1 cm^3 .
- Cintas métricas de 25 m y de 2 m.
- Calibre de precisión o juego de galgas para medir diámetros de las boquillas del aspersor.
- Veleta y anemómetro.

2. Pasos a realizar

- Ir con el material a la zona donde se va a realizar la evaluación
- Sin regar, comprobar las características de aspersores y boquillas de
- Toda la zona donde se va a realizar la evaluación (HOJA 1).
- Comprobar el marco de riego (HOJA 1).
- Elegir la zona de colocación de los pluviómetros.
 - Elegir la más desfavorable si se ve.
 - Elegir la más representativa (a 1/3 del ramal).
 - Si se puede, se hacen las dos.
- Bloquear los aspersores elegidos dirigiendo el chorro hacia fuera.
- Colocar los pluviómetros (el primero a 1.5 m del borde, los demás a 3 x 3).
- Empezar a regar.
- Cuando esté el riego estabilizado comprobar.
 - Presiones de los aspersores de la evaluación HOJA 1.
 - Caudal de los aspersores de la eva-

luación (2 veces). HOJA 1.

- Altura del portaaspersor. HOJA 1.

- Comprobar que ningún pluviómetro tiene agua y desbloquear aspersores controlando la hora. HOJA 1.
- Medir la velocidad y dirección del viento al inicio. HOJA 1.
- Bloquear los aspersores que mojan los pluviómetros y controlar el tiempo. Tiempo mínimo de la evaluación. 1 hora. HOJA 1.
- Comprobar la presión final de dichos aspersores. HOJA 1.
- Parar el riego.
- Medir el agua de los pluviómetros. HOJA 2.
 - Recoger el material.
 - Calcular el C.U.C. HOJA 2.
 - Calcular la pluviometría. HOJA 2.
 - Calcular la eficiencia. HOJA 2.

Red de pluviómetros para evaluar la uniformidad en una cobertura total



[illegible]

Velocidad (m/s):	inicio	durante	final
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

HOJA 1

Evaluación de un sistema de riego por aspersión

Fecha:

Aspersor: Presión (kg/cm²):

Boquilla (mm): Caudal (l/h):

Hora comienzo: Fin: Duración (min):

Viento (m/s) 1ª: Dirección del viento:

2ª:

3ª: Pluviómetros espaciamiento: 3 x 3

media: Pluviómetros área: m²

12 x 12 12 x 15 12 x 18

Coeficiente uniformidad:

Pluviometría del sistema:

Pluviometría media recogida:

Eficiencia del sistema: (*agua recogida / agua aplicada, media pluviómetros*)



Observaciones:

.....

.....

.....

.....

Evaluación de pivote

Antes de poner en funcionamiento el pivot:

1. Rellenar los datos de la ficha de evaluación, aprovechando que hemos tenido que buscar al agricultor para que nos muestre el pivot.
2. Visualización previa del pivot. Contaremos el número de torres que tiene, para identificar el 25% de la longitud total del pivot, ya que va a ser la zona que no se va a evaluar debido a que en los pivots circulares esa zona representa una mínima superficie (6% de la superficie regada) y como tarda mucho en pasar, retrasaría de forma importante la evaluación.
3. Colocación de 2 filas paralelas de pluviómetros, separadas entre sí 1 ó 2 metros. De esta forma tenemos la posibilidad de realizar dos evaluaciones al mismo tiempo y además, en caso de que algún pluviómetro resulte nulo, contamos con el que está a su lado para tener la información sobre ese punto del pivot. Las dos filas de pluviómetros se colocarán siguiendo el radio del círculo que describe el pivot, pudiendo ir acercando los pluviómetros hacia el pivot a medida que nos separamos del centro del pivot (siempre siguiendo el radio). La separación entre los pluviómetros va a ser de 4 metros en el caso de que el pivot tenga difusores, o de 5 metros si tiene aspersores.

A la vez que se van colocando los pluviómetros se van midiendo las torres que le componen y así sabremos la longitud exacta del pivot.

Con el pivot en funcionamiento:

4. Mirar la velocidad de la torre exterior. Pasos:
 - Se clavará una estaca paralela a la dirección de la última torre. Este será el punto de referencia que nos marca el inicio del cronometraje.
 - Se toma como referencia el punto central del eje de la rueda y a su paso por la estaca se comienza a cronometrar.
 - Con el pivot en marcha, se clavará una segunda estaca a unos 10 metros de la primera, y cuando pase el punto de referencia (punto central del eje de la rueda) por la segunda estaca, se parará el cronómetro. Si por alguna causa la distancia es mayor, saber que tendremos un margen de error mayor.
 - Se mide la distancia lineal entre las dos estacas. Esta distancia será algo menor que la recorrida por la torre, ya que describe un círculo, y por ello cuanto más la dejemos avanzar, mayor será el error.
 - Posteriormente se dividen los metros recorridos por el pivot entre los minutos que ha tardado, y obtendremos la velocidad del pivot expresada en m/min. Esta velocidad hace referencia al porcentaje que marca la marcha del pivot.

Evaluación de uniformidad en un pivote.



5. Mirar las presiones del equipo:

- Cabecera
- Primera torre
- Torre intermedia
- Última torre

Para ello hay que subirse a las torres del pivot y con un manómetro se mira la presión del aspersor más cercano. Si son difusores se apartará el elemento que dispersa el agua (empujándolo con cuidado) y se introduce el manómetro para mirar la presión. Para no perder tiempo y mientras el pivot sigue pasando por encima de los pluviómetros, se siguen tomando datos:

6. Croquis de la parcela, indicando la situación en que se encuentra el pivot cuando se está realizando la evaluación.

7. Meteorología del día de la evaluación:

- Viento: se tomará 3 veces a lo largo de la evaluación, como mínimo. En cada toma se calculará la media de diez medidas consecutivas de viento.
- También se anotarán otros factores que pudieran afectar a la evaluación, como puede ser lluvia y otros elementos.

8. Cálculo de la superficie regada por el pivot (si no la conoce el agricultor). Para ello debemos haber medido antes la longitud total del pivot, incluyendo el alcance del cañón si es que lo tiene.



9. Cuando el pivote ya no moja los pluviómetros:

Medición de la presión en un emisor en un pivote.

10. Se comienza a recoger los pluviómetros de fuera hacia dentro, para dar tiempo al pivot a pasar sobre los pluviómetros centrales. A la vez que se recogen, se va anotando el contenido de cada pluviómetro dentro del estadillo, en la casilla correspondiente a la distancia que separa el pluviómetro del centro del pivot.

11. Cálculos según la ficha de evaluación:

El cálculo principal es el coeficiente de uniformidad que se deduce de la fórmula siguiente:

$$CU = [1 - \sum D_i [P_i - \sum P_i D_i / \sum D_i] / \sum P_i D_i] * 100$$

Donde:

P1 es la pluviometría recogida en cada pluviómetro.

D1 es la distancia que separa cada pluviómetro del centro del pivot.

Lo que pretende esta fórmula al multiplicar P_1 por D_1 es dar a cada pluviómetro la importancia que tiene según su posición respecto al centro del pivot, ya que cuanto más nos alejamos del centro, mayor superficie regada representa. Por esto, la influencia de cada pluviómetro en el resultado final, es proporcional a la distancia que le separa del centro del Pivot.

Otros cálculos que se realizan son:

- Tiempo de revolución, de acuerdo con la velocidad que nosotros hemos medido.
- Pluviometría teórica.
- Pluviometría real.

FICHA DE EVALUACIÓN DE UN PIVOT

Evaluación N°:

Datos generales:

1º Evaluadores:
 2º Fecha de la evaluación: ____/____/2____
 Hora de comienzo: ____/____ h
 3º Propietario:
 Población:
 Finca:
 Nombre de la parcela:
 Polígono:
 Parcela:
 Identificación del pivot:

Datos del sistema de riego:

1º Tipo de bomba impulsora: (nombre)
 2º Tipo de pivot (circular, frontal, sectorial, multicentro):
 -Marca:
 -Número de torres:
 -Longitud del equipo (torres + voladizo): m
 -Longitud entre torres: m
 -Longitud del voladizo: m
 -Alcance del cañón: m
 -Longitud total (torres + voladizo + cañón): m
 -Torres de emisores (aspersor o difusor): m
 -Diámetro de la tubería: mm
 -Caudal aplicado (dotación): Litros
 -Observaciones:

3º Superficie regada (cuidado con los sectoriales): ha

4º Presiones

Presión en la bomba: atm
 Presión en la cabecera del pivot: atm
 Presión en la torre: atm
 Presión en la torre intermedia: atm

Torre n°:

Presión en la última torre: atm

Meteorología:

1º Viento:

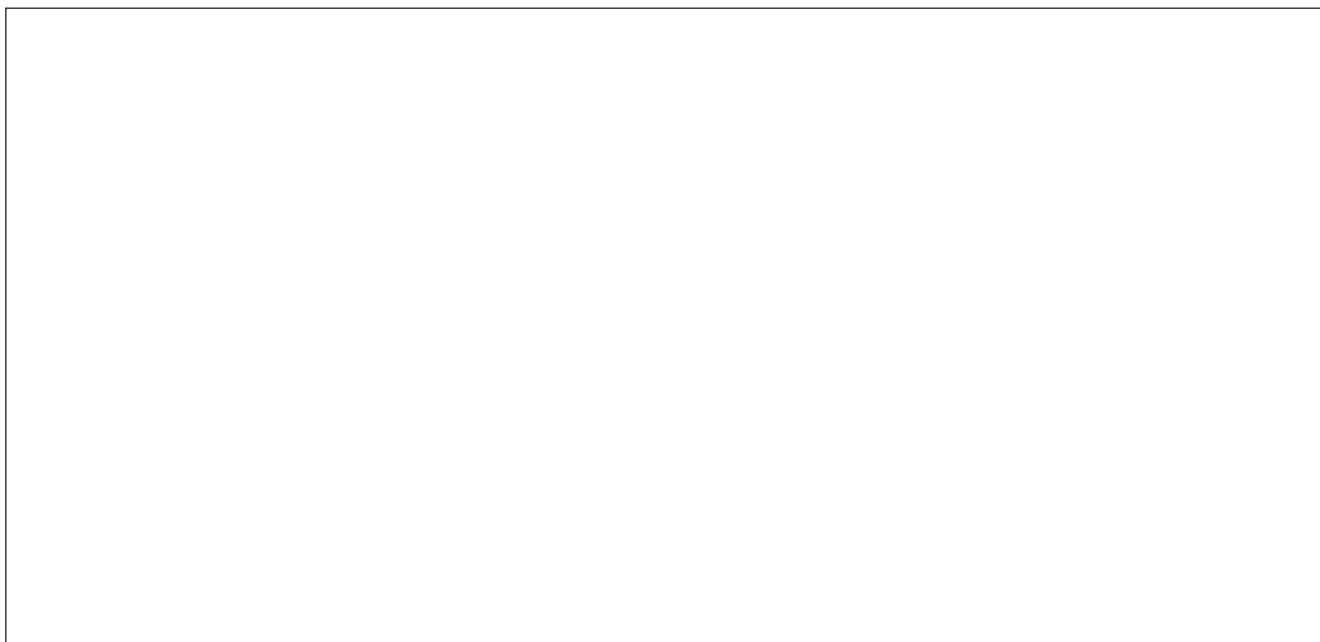
Inicio: m/s

Intermedio: m/s

Final: m/s

Media: m/s

2º Observaciones:

Croquis de la parcela:

Velocidad de la torre exterior:

-Funcionando al: %
 -..... , m/min

Tiempo de revolución

(tiempo de tarda en recorrer la zona de riego)

.....min

Resultados

Coeficiente de uniformidad:

-Sin cañón:

Vol. 1: %

Vol. 2: %

Media: %

-Con cañón:

Vol. 1: %

Vol. 2: %

Media: %

-Pluviometría media:

Teórica: Litros

Práctica: Litros

IDENTIFICACIÓN EVALUACIÓN

POS	DIST	VOL1	VOL2	POS	DIST	VOL1	VOL2	POS	DIST	VOL1	VOL2	POS	DIST	VOL1	VOL2
1				51				101				151			
2				52				102				152			
3				53				103				153			
4				54				104				154			
5				55				105				155			
6				56				106				156			
7				57				107				157			
8				58				108				158			
9				59				109				159			
10				60				110				160			
11				61				111				161			
12				62				112				162			
13				63				113				163			
14				64				114				164			
15				65				115				165			
16				66				116				166			
17				67				117				167			
18				68				118				168			
19				69				119				169			
20				70				120				170			
21				71				121				171			
22				72				122				172			
23				73				123				173			
24				74				124				174			
25				75				125				175			
26				76				126				176			
27				77				127				177			
28				78				128				178			
29				79				129				179			
30				80				130				180			
31				81				131				181			
32				82				132				182			
33				83				133				183			
34				84				134				184			
35				85				135				185			
36				86				136				186			
37				87				137				187			
38				88				138				188			
39				89				139				189			
40				90				140				190			
41				91				141				191			
42				92				142				192			
43				93				143				193			
44				94				144				194			
45				95				145				195			
46				96				146				196			
47				97				147				197			
48				98				148				198			
49				99				149				199			
50				100				150				200			

FICHA DEL PIVOT

Datos generales

Agricultor:

Polígono:

Parcela:

Nombre de la parcela:

Identificación del pivot:

-Aspersores:..... Difusores:.....

-Número de torres:

-Aleros:..... longitud:..... m

-Cañón:..... alcance:..... m

VIENTO

-Media:, m/s

PRESIÓN

-Bomba:, atm

-Cabecera:, atm

-Primera torre:..... atm

-Torre internedia:..... atm

Torre N°:

-Última torre:..... atm

PLUVIOMETRÍA

- Funcionando al: %

- Pluviometría:.....Litros

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU medio)

- Sin cañón:, %

- Con cañón:, %

2.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIMCRA: Memorias de los trabajos efectuados en las campañas 1991 – 1996.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. (1976): “Las necesidades de agua de los Cultivos”. Estudio FAO de Riego y Drenaje n° 24. Pág. 194.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. (1979): “Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos”. Estudio FAO de Riego y Drenaje n° 33. Pág. 211.

MARTÍN DE SANTA OLALLA MAÑAS, F.; DE JUAN VALERO, J.A. (1993) “Agronomía del Riego”. Ed. Mundi-Prensa y la Universidad de Castilla-La Mancha. Pág. 732.

MARTÍNEZ DÍEZ, J.C. (1996): “Riegos de nascencia en el cultivo de la remolacha”. Riegos y Drenajes XXI n° 87. Pág. 39-41.

MORILLO-VELARDE, R.; VELICIA, H.; MARTÍNEZ, J.C. (1997): “Datos del cultivo de la remolacha azucarera en España para CROPWAT”. Riegos y Drenajes XXI n° 94. Pág. 64-68.

MORILLO-VELARDE, R. (1991); “Respuesta de la remolacha de siembra otoñal al riego”. Tesis doctoral.

VELICIA, H. (1998); “Efectos del estrés hídrico sobre la producción y calidad de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) de siembra primaveral en diferentes momentos del cultivo en las condiciones de la cuenca del Duero”. Tesis doctoral.

Revistas “AIMCRA” n° 44 (marzo 95) y n° 49 (enero 96).

SMITH, M. (1993): “CROPWAT. Programa de ordenador para planificar y manejar el riego”. Estudio FAO de Riego y Drenaje n° 46. Pág. 133.

ANEJOS

1. Tabla resumen de las propiedades físicas del suelo.
2. Calendarios medios de riego neto para las distintas provincias.

Siembra primaveral

- Siembra temprana: antes del 15 de marzo.
- Siembra tardía: después del 15 de marzo.

Siembra otoñal

- Siembra temprana: antes del 30 de octubre.
- Siembra tardía: después del 30 de octubre.

TABLA RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Textura del suelo	Infiltración ¹ y permeabilidad (mm/h) I_t	Total espacio poroso % W	Peso específico aparente A_s	Capacidad de campo % FC	Marchitez permanente % PW	Humedad total utilizable (RU)			Humedad fácilmente utilizable ² (RFU) mm/m
						Peso seco % $P_w = FC - PW$	Volumen % $P_v = P_w \cdot A_s$	mm/m $d = \frac{P_s}{100} \cdot A_s \cdot D$	
Arenoso	50 (25 - 255)	38 (32 - 42)	1,65 (1,55 - 1,80)	9 (6 - 12)	4 (2 - 6)	5 (4 - 6)	8 (6 - 10)	80 (70 - 100)	60
Franco-arenoso	25 (13 - 76)	43 (40 - 47)	1,50 (1,40 - 1,60)	14 (10 - 18)	6 (4 - 8)	8 (6 - 10)	12 (9 - 15)	120 (90 - 150)	90
Franco	13 (8 - 20)	47 (43 - 49)	1,40 (1,35 - 1,50)	22 (18 - 26)	10 (8 - 12)	12 (10 - 14)	17 (14 - 20)	170 (140 - 190)	127
Franco-arcilloso	8 (2,5 - 15)	49 (47 - 51)	1,35 (1,30 - 1,50)	27 (23 - 31)	13 (11 - 15)	14 (12 - 16)	19 (16 - 22)	190 (170 - 220)	142
Arcillo-arenoso	2,5 (0,3 - 5)	51 (49 - 53)	1,30 (1,25 - 1,35)	31 (27 - 35)	15 (13 - 17)	16 (14 - 18)	21 (18 - 23)	210 (180 - 230)	157
Arcilloso	5 (0,1 - 1)	53 (51 - 55)	1,25 (1,20 - 1,30)	35 (31 - 39)	17 (15 - 19)	18 (16 - 20)	23 (20 - 25)	230 (200 - 250)	172

Nota: Los intervalos normales son consignados entre paréntesis.
1. Los intervalos de infiltración real varían mucho con la estructura del suelo y su estabilidad estructural, incluso más aún de lo indicado en esta columna.
2. La humedad fácilmente utilizable (RFU) representa un 75% de la totalmente utilizable (RU).

CALENDARIOS MEDIOS DE RIEGO NETO
PROVINCIA DE ÁVILA

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	19	1	26	1	34
JUNIO	4	27	3	38	3	40
JULIO	5	30	4	40	4	40
AGOSTO	5	30	3	40	3	40
SEPTIEMBRE	2	27	2	38	1	40
	1	9	1	13	1	35
TOTALES	19	509	14	509	13	509

*Antes del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	12	1	17	1	21
JUNIO	4	21	3	29	2	37
JULIO	6	29	4	40	4	40
AGOSTO	4	30	4	40	4	40
SEPTIEMBRE	3	29	1	40	1	40
	—	—	1	28	1	37
TOTALES	19	489	14	492	13	492

*Después del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

PROVINCIA DE BURGOS

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	—	—	—	—	—	—
JUNIO	3	27	2	38	2	40
JULIO	5	30	4	40	4	40
AGOSTO	4	30	3	40	3	40
SEPTIEMBRE	1	27	1	38	1	38
	1	20	—	—	—	—
TOTALES	14	398	10	394	10	398

*Antes del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	—	—	—	—	—	—
JUNIO	4	21	3	29	2	37
JULIO	4	29	3	40	3	40
AGOSTO	4	30	3	40	3	40
SEPTIEMBRE	2	29	1	40	1	40
	1	11	1	22	1	35
TOTALES	15	389	11	389	10	389

*Después del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

PROVINCIA DE LEÓN

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	1	19	1	26	1	34
JUNIO	4	27	3	38	2	40
JULIO	5	30	3	40	4	40
AGOSTO	4	30	4	40	3	40
SEPTIEMBRE	2	27	1	38	1	40
	1	12	—	—	1	29
TOTALES	17	463	12	458	12	463

*Antes del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	1	12	1	17	1	21
JUNIO	4	21	3	29	2	37
JULIO	5	29	4	40	4	40
AGOSTO	5	30	3	40	3	40
SEPTIEMBRE	1	29	1	40	1	40
	1	26	1	22	1	31
TOTALES	17	446	13	446	12	446

*Después del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

PROVINCIA DE PALENCIA

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	19	1	26	1	34
JUNIO	4	27	3	38	2	40
JULIO	5	30	4	40	4	40
AGOSTO	4	30	3	40	4	40
SEPTIEMBRE	2	27	1	38	1	40
	1	13	1	25	1	9
TOTALES	18	483	13	483	8	483

*Antes del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	1	12	1	17	1	21
JUNIO	4	21	3	29	2	37
JULIO	6	29	4	40	4	40
AGOSTO	4	30	3	40	4	40
SEPTIEMBRE	2	29	2	40	1	40
	1	20	—	—	1	13
TOTALES	18	468	13	464	13	468

*Después del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

PROVINCIA DE SALAMANCA

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	19	1	26	1	34
JUNIO	4	27	3	38	3	40
JULIO	6	30	4	40	4	40
AGOSTO	5	30	4	40	4	40
SEPTIEMBRE	2	27	2	38	1	40
	1	22	1	16	1	38
TOTALES	20	552	15	552	14	552

*Antes del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	12	1	17	1	21
JUNIO	4	21	4	29	3	37
JULIO	7	29	4	40	4	40
AGOSTO	5	30	4	40	4	40
SEPTIEMBRE	2	29	1	40	1	40
	—	—	1	30	1	31
TOTALES	20	519	15	523	14	523

*Después del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

PROVINCIA DE SEGOVIA

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	1	19	1	26	1	34
JUNIO	4	27	2	38	2	40
JULIO	5	30	4	40	4	40
AGOSTO	4	30	3	40	3	40
SEPTIEMBRE	2	27	1	38	1	40
	—	—	1	32	1	18
TOTALES	17	451	12	452	12	452

*Antes del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	1	12	1	17	1	21
JUNIO	4	21	3	29	2	37
JULIO	5	29	3	40	4	40
AGOSTO	4	30	4	40	3	40
SEPTIEMBRE	2	29	1	40	1	40
	1	17	1	12	1	21
TOTALES	17	436	13	436	12	436

*Después del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

PROVINCIA DE SORIA

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	—	—	—	—	—	—
JUNIO	3	27	2	38	2	40
JULIO	4	30	3	40	3	40
AGOSTO	4	30	3	40	3	40
SEPTIEMBRE	2	27	2	38	1	40
	1	20	—	—	1	35
TOTALES	14	395	10	392	10	395

*Antes del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	1	12	1	17	1	21
JUNIO	4	21	3	29	2	37
JULIO	5	29	3	40	3	40
AGOSTO	4	30	3	40	3	40
SEPTIEMBRE	1	29	1	40	1	40
	1	20	1	26	1	35
TOTALES	16	410	12	410	11	410

*Después del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

PROVINCIA DE VALLADOLID

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	19	1	26	1	34
JUNIO	4	27	3	38	3	40
JULIO	6	30	5	40	4	40
AGOSTO	5	30	4	40	4	40
SEPTIEMBRE	3	27	1	38	2	40
	1	10	1	29	1	13
TOTALES	21	567	15	567	15	567

*Antes del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	12	1	17	1	21
JUNIO	5	21	4	29	3	37
JULIO	6	29	4	40	4	40
AGOSTO	6	30	4	40	4	40
SEPTIEMBRE	2	29	2	40	2	40
	1	10	1	18	1	19
TOTALES	22	551	16	551	15	551

*Después del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

PROVINCIA DE ZAMORA

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	19	1	26	1	34
JUNIO	4	27	3	38	3	40
JULIO	6	30	5	40	5	40
AGOSTO	6	30	4	40	4	40
SEPTIEMBRE	2	27	1	38	1	40
	1	13	1	35	1	19
TOTALES	21	573	15	573	15	573

*Antes del 15 de marzo

**Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	12	1	17	1	21
JUNIO	5	21	4	29	3	37
JULIO	6	29	4	40	4	40
AGOSTO	6	30	4	40	4	40
SEPTIEMBRE	2	29	2	40	2	40
	1	14	1	22	1	23
TOTALES	22	555	16	555	15	555

*Después del 15 de marzo

**Sólo dos decenas



EFFIREM+

EFICIENCIA
ENERGÉTICA Y
AHORRO DE AGUA
EN EL RIEGO DE
LA REMOLACHA
AZUCARERA



ESCUELA UNIVERSITARIA
DE INGENIERIA AGRICOLA

