Madrid
Ahorra
con Energía

La Suma de Todos

CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA
Comunidad de Madrid
www.madrid.org

Guía de gestión energética en zonas verdes y campos de golf

Guía de gestión energética en zonas verdes y campos de golf

Madrid, 2012

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid

Energy Management Agency
Intelligent Energy Europe

www.fenercom.com

La Suma de Todos

CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA
Comunidad de Madrid
www.madrid.org

Esta Guía se puede descargar en formato pdf desde la sección de publicaciones de las páginas web:

www.madrid.org
(Consejería de Economía y Hacienda, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas)

www.fenercom.com

Si desea recibir ejemplares de esta publicación en formato papel puede contactar con:

Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid
dgtecnico@madrid.org

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid
fundacion@fenercom.com

Esta guía ha sido redactada, a petición de la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, por Helena Cuartero Abengózar, Directora Comercial y de Márketing, y Marcos Pérez Martínez, Director Técnico de Audit Irrigation. Con la colaboración de Abaco Ambiental, Grundfos, Regaber, Hunter Industries y Samcla.

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, respetuosa con la libertad intelectual de sus colaboradores, reproduce los originales que se le entregan, pero no se identifica necesariamente con las ideas y opiniones que en ellas se exponen y, por tanto, no asume responsabilidad alguna de la información contenida en esta publicación.

La Comunidad de Madrid y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, no se hacen responsables de las opiniones, imágenes, textos y trabajos de los autores de esta Guía.

Diseño de cubierta: Paco C. Cepas.

Depósito Legal: M. 32.746-2012
Impresión Gráfica: Gráficas Arias Montano, S. A.
28935 MÓSTOLES (Madrid)

Índice

PRESENTACIÓN 11

1. INTRODUCCIÓN 13
   1. Generalidades sobre el ahorro y la eficiencia energética en zonas verdes y campos de golf 13
   2. Agua 22
      2.1. El reajuste del precio del agua 23
      2.2. Reutilización de las aguas depuradas. 25
   3. Energía 34
   4. Marco legal en la Comunidad de Madrid 34
   5. Objetivos de la guía 35

2. SISTEMAS DE IMPULSIÓN 37
   1. Introducción 37
   2. Sistemas de bombas 38
   3. Tipos de bombas empleadas 38
   4. Eficiencia interna de una bomba 41
   5. Curvas características de una bomba 42
   6. Variadores de frecuencia o variadores de velocidad 44
   7. Eficiencia del motor. Motores de alto rendimiento 46
   8. Instalación de grupos de bombas. 48
   9. Comparativo energético sistemas de impulsión 50

3. SISTEMAS DE FILTRACIÓN 53
   1. Introducción 53
   2. Tipos de filtros por el sistema de filtración 53
   3. Tipos de filtros por el sistema de limpieza 57
   4. Baterías de filtración 59
   5. Grados de filtración 60
   6. Presión de trabajo, caudales máximos y pérdidas de carga 65
   7. Eficiencia energética de los sistemas de filtración 66
   8. Comparativo energético en la filtración 67

4. SISTEMAS DE RIEGO. 71
   1. Agua y suelo 71
      1.1. El agua en el suelo, el agua en las plantas 71
      1.2. Capacidad de retención del agua en el suelo 72

1.3. El movimiento del agua en el suelo 75
1.4. Necesidades de agua de una planta. Pluviometría de un riego 77
1.5. Sistemas de aplicación del agua de riego 80
2. Sistemas aéreos de riego 83
2.1. Riego por aspersión 83
2.2. Riego por difusión 87
2.3. Nuevas tecnologías en riegos aéreos 90
3. Sistemas superficiales de riego 91
3.1. El riego por goteo 91
3.2. El riego por exudación 99
4. Comparativo energético sistemas de riego 103

5. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN 107
1. Introducción 107
2. Relación entre agua y energía 108
3. Fórmulas básicas 109
4. Materiales empleados en las conducciones 110
5. Velocidades de cálculo 114
6. Sistema anillados. Trazado en plano. 115
7. Conclusiones. 116
8. Comparativo energético redes de distribución. 117

6. ELEMENTOS DE CONTROL Y SUPERVISIÓN 121
1. Introducción 121
2. Contadores y válvulas hidráulicas 121
3. Trasductores de presión 126
4. Sensores de humedad 127
5. Ventosas 129

7. SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO 135
1. Introducción 135
2. Sistemas de automatización en relación al tipo de comunicación 136
3. Elementos externos de supervisión, gestión y control 139
4. Gestores de caudal 140
5. Estaciones meteorológicas. Riego por et. 141
6. Sensores de humedad en campo 144
7. Sensores de presión en la red de riego 145
8. Sensores de caudal y válvulas maestras en la red de riego 146
9. Integración bombeo – software de riego 146

8. OPTIMIZACIÓN DE TARIFAS 149
1. Tarifas 149
1.1. Tarifa de Último Recurso: TUR 149
1.2. Mercado Libre 151
1.3. Tarifas de acceso o peaje 152
2. Caso práctico: Análisis de una factura real 153

9. APLICACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ZONAS VERDES Y CAMPOS DE GOLF. PERIODOS DE AMORTIZACIÓN 163
1. Introducción 163
2. Caso práctico: instalación de un sistema de energía renovable en un campo de golf de 18 hoyos 165
2.1. Datos de partida 167
2.2. Inventario de consumos 167
2.3. Dimensionado del sistema 168
2.4. Oferta económica 172
2.5. Comparativa y plazo de amortización 172

10. MANTENIMIENTO Y REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO 175
1. Prácticas y labores en el mantenimiento 175
2. Revisión del funcionamiento de los sistemas de impulsión 175
3. Revisión de baterías de filtración 176
4. Revisión de los sistemas de riego 177
4.1. En los sistema de aspersión y difusión 177
4.2. En los sistemas de riego por goteo 177
5. Limpieza interna de la instalación 178
5.1. Tratamiento con ácido para disolver sedimentaciones 178
5.2. Tratamiento de cloración del sistema de riego por goteo y de las baterías de filtración 179
6. Revisión de los elementos de supervisión y control 180
6.1. Revisión de válvulas de compuerta 180
6.2. Revisión de válvulas hidráulicas 180
6.3. Revisión de ventosas 181
6.4. Revisión de contadores y trasductores de presión. Control de la red 181
6.5. Revisión de sondas de ph y conductividad. Control de la calidad del agua 182
7. Revisión del sistema centralizado 182

11. AUDITORIAS ENERGÉTICAS EN ZONAS VERDES Y CAMPOS DEPORTIVOS 185
1. Protocolo a seguir en una auditoría energética de zonas verdes y campos deportivos 185
2. Examen técnico de la instalación 185
2.1. Si la instalación se encuentra en fase de proyecto: auditoría energética en fase de proyecto 186
2.2. Instalación en fase de conservación: auditoría energética en fase de conservación 187
3. Elaboración de informe de situación del proyecto o de la instalación 188
4. Propuesta de actuaciones para el ahorro y la eficiencia energética 189

12. SELECCIÓN DE PLANTAS DE BAJAS NECESIDADES HÍDRICAS: XEROJARDINERÍA 190
1. ¿Qué es la xerojardinería? 191
2. Necesidades hídricas de especies generalmente empleadas en zonas verdes de la comunidad de madrid 192

ANEJO 1: BOMBAS GRUNDFOS ESPAÑA. AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN SISTEMAS DE IMPULSIÓN 201
1. Auditorías energéticas. ¿Porqué realizarlas? 201
2. Auditoría energética. Caso real. 201

ANEJO 2: REGABER. SISTEMA DE FILTRACIÓN AUTOLIMPIANTE A BAJA PRESIÓN 213
1. Elección del sistema de filtración más adecuado 213
2. Filtros de baja presión «lce» (low cost energy) 215
3. La importancia de un contralavado eficiente 217

ANEJO 3: HUNTER INDUSTRIES. EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS DE RIEGO AÉREOS 221
1. Introducción 221
2. Pluviometría en emisores de riego. 221
3. Cálculo de pluviometrías. Tiempos de riego. 222
4. Evaluación del rendimiento de un emisor. 225
5. Perfil de distribución de agua. Densogramas. 229
6. Uniformidad del riego. Coeficientes aplicados. 230
7. Eficiencia y uniformidad del riego. 232
7.1. Uniformidad 233
7.2. Eficiencia 236

ANEJO 4. EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO 239
1 Sistema de riego por goteo. Ahorro y eficiencia generalizado 239
2. Goteros de bajo y ultra bajo caudal 241
3. La importancia del rango de autocompensación 244
4. Goteros antidrenantes 246

ANEJO 5. LA TELEGESTIÓN EN REDES DE RIEGO. UN PASO MÁS HACIA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EL AHORRO DE AGUA 249
1. Antecedentes 249
2. Los sistemas de telegestión 250
3. Ventajas de los sistema de telegestión 251
4. Funcionamiento de un sistema de telegestión y elementos que lo componen 253
5. Caso práctico 257

PRESENTACIÓN

En la Comunidad de Madrid, tanto los ciudadanos como las distintas Administraciones son conscientes de la importancia de proteger y mantener adecuadamente las zonas verdes, y en la medida de lo posible, fomentar el desarrollo de otras nuevas. Éstas son imprescindibles por los beneficios que reportan a las personas y porque contribuyen de manera notable a reducir el deterioro de los núcleos urbanos.

Esta guía pretende abordar la gestión energética en zonas verdes y campos de golf, abarcando parques, jardines y campos deportivos, tanto de uso público como privado. Para alcanzar el ahorro y la eficiencia energética de las zonas verdes es imprescindible trabajar el binomio agua/energía, de esta manera los autores describen la relación entre el consumo de agua y el consumo de energía.

Para ello, se han recopilado los datos de las zonas verdes de distintos Municipios de la Comunidad de Madrid, se han analizado los sistemas de los que constan estos espacios, y se han presentado los cálculos para su estudio. Todo ello hace que esta guía sea una buena herramienta de gestión de la eficiencia energética, pues da a conocer a profesionales y al público en general la utilidad y la importancia de adoptar algunas de las medidas propuestas. De estos datos conviene resaltar como máximo exponente Madrid, cuyos parques y jardines ocupan una extensión superior a las 250.000 hectáreas y en sus calles hay más de 248.000 árboles.

Por este motivo, la Dirección General de Industria, Energía y Minas y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, editan esta Guía de gestión energética en zonas verdes y campos de golf, dirigida tanto al público profesional como al ciudadano, con el objetivo de dar a conocer las medidas a seguir para la mejora del ahorro y la eficiencia energética.

Carlos López Jimeno
Director General de Industria, Energía y Minas
Comunidad de Madrid

1 INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES SOBRE EL AHORRO Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ZONAS VERDES Y CAMPOS DE GOLF

Los espacios verdes son considerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como imprescindibles por los beneficios que reportan en nuestro bienestar físico y emocional, contribuyendo a mitigar el deterioro urbanístico de la ciudad, y haciéndolas más habitables y saludables.

La recomendación de la OMS es que las ciudades deben disponer, como mínimo, de entre 10 a 15 m² de área verdes por habitante, distribuidos equitativamente en relación a la densidad de población.

Resulta difícil conocer este dato de nuestras ciudades, ya que **no existen datos oficiales de zonas verdes** a nivel municipal, ni tampoco a nivel privado.

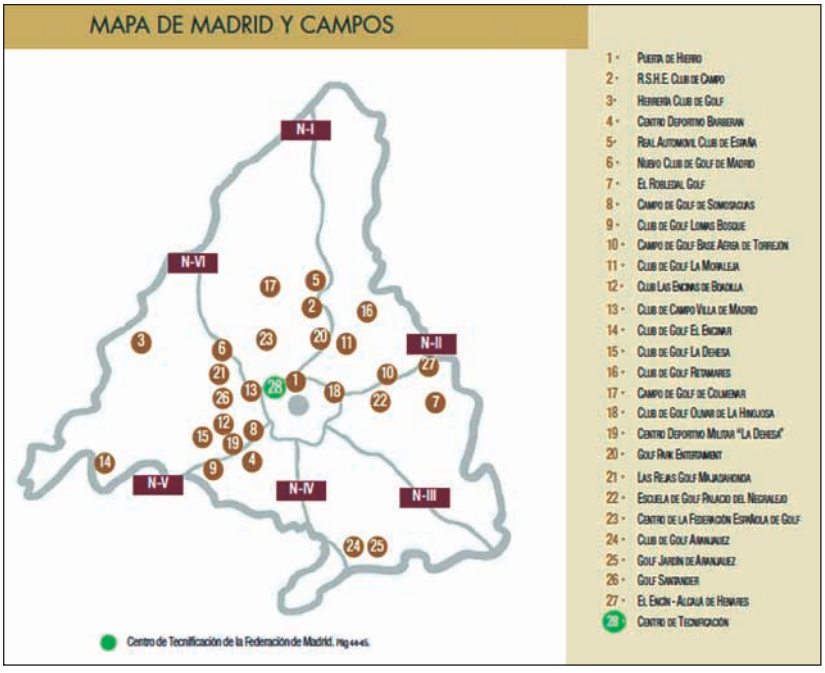
Antes de proseguir, debemos aclarar que cuando hablamos de instalaciones de zonas verdes, nos estamos refiriendo a parques (más de 1 hectárea), jardines (menos de 1 hectárea), campos de golf y otros campos deportivos (de hierba), tanto públicos como privados.

En cuanto a las **zonas verdes urbanas**, la crisis económica ha supuesto un «parón» en el sector. Según la Asociación Nacional de Parques y Jardines Públicos, España se encuentra muy por debajo de la media europea en el modelo de zonas verdes, en el que Gran Bretaña, Holanda, Francia y Alemania están a la cabeza. Y se están viendo afectadas por recortes que van del 15 y al 20 % en su conservación. Los recortes implican una merma en la calidad debido a que hay menos personal y menos dinero por metro cuadrado, lo que, además de afectar a la conservación, influye también en la aplicación de diseños más sostenibles.

En el caso de los **campos de golf**, también el sector se está viendo afectado por la crisis. En primer lugar porque la construcción de campos de golf ha estado muy ligada en los últimos años al desarrollo urbanístico. Y en segundo lugar, porque la conservación de los campos de golf que son públicos está sujeta a los mismos recortes que las zonas verdes urbanas, y en el caso de los campos de golf privados, su conservación va a depender del número de socios, que en mayor o menor medida, dependiendo del campo de golf, también se están viendo afectados. Muchos campos de golf se están viendo empujados a cerrar.

En la Tabla 1 se muestran los campos de golf de la Comunidad de Madrid y su localización.

Tabla 1. Mapa de Madrid y Campos.



Fuente: Federación de Golf de Madrid.

En la Tabla 2 se muestra el inventario de zonas verdes públicas y el origen del agua de los municipios de la Comunidad de Madrid con más de 50.000 habitantes.

La información ha sido elaborada a través de una encuesta realizada a los jefes de servicio y técnicos de parques y jardines de los distintos Ayuntamientos .

Tabla 2. Inventario de zonas verdes públicas y origen del agua en los municipios con más de 50.000 habitantes de la Comunidad de Madrid

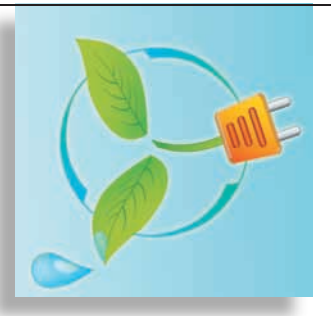
MUNICIPIO	SUPERFICIE TOTAL ZONAS VERDES (ha)	SUPERFICIE REGADA ZONAS VERDES (ha)	NÚM. ARBOLADO ALINEACIÓN	ORIGEN DEL AGUA	NÚM. POZOS	COMENTARIOS
Alcalá de Henares	150	150	57.969	No Potable (de Pozo y de Aljibe)		
Alcobendas	110	71	13.000	Potable, Depurada y de Pozo	8	1) 5% se riegan únicamente de Pozo, 52% con agua de Pozo + Depurada y 36% agua Potable. 2) No se riega el Pinar de San Isidro.
Alcorcón	303	303	16.351	Potable, Depurada y de Pozo		1) El agua Depurada se va a introducir en los siguientes parques: Parques de los Castillos, Parque de Alfredo Nobel, Parque de la Ribota, Parque de la República, Pinas de Urtinsa, Parque de Valdeluz, Parque de las Comunidades y Parque Buero Vallejo. 2) La mayoría de los pozos serán sellados con la llegada del agua Depurada. 3) Ratio 17,29 m^2 de zonas verdes por habitante.
Aranjuez	98	98		Potable (20%), Depurada (50%) y de Pozo (30%)	1	1) El n.º de pies existentes incluido arbolado de alineación de calles, arbolado de zonas verdes jardines parques y plazas es de 36.453 uds . El arbolado de las superficies forestales (25 Has) como zona verde municipal dentro del suelo urbano es de 5.036 uds. El riego del arbolado se realiza con sistemas de riego por goteo, cuando se emplea agua Potable, Depurada y de Pozo, y por inundación, cuando se emplea agua de río, a través del Canal de las Aves.

(Continuación)

MUNICIPIO	SUPERFICIE TOTAL ZONAS VERDES (ha)	SUPERFICIE REGADA ZONAS VERDES (ha)	NÚM. ARBOLADO ALINEACIÓN	ORIGEN DEL AGUA	NÚM. POZOS	COMENTARIOS
Collado Villalba	57	32	2.120	Potable		1) 22,35 ha de la superficie son áreas naturales.
Colmenar Viejo	50	30 ha	—	Depurada 20%, Resto Potable		1) 20 ha de la superficie son zonas forestales 2) En 2013 se espera llegar al 50% con agua Depurada y con el tiempo al 100%.
Coslada	220	77	—	Potable		1) Incluye zonas forestales 2) Dentro del Plan Madrid Dpura, en fase de ejecución para regar el 100% con agua Depurada en 4 años.
Getafe	254	254	55.994	Potable y de Pozo	3	1) No se incluyen las zonas forestales, que son el cerro de los angeles, prado acedinos y el pinar del poligono de los olivos. 2) El arbolado es el total del municipio, no sólo de alineación. 3) 5 ha se riegan con agua de Pozo, resto con Potable. 4)Dentro del Plan Madrid Depura que todavía no está funcionando.
Leganés	160	160	70.000	Potable, de Pluviales y de Pozo		1) Excluidos Bosque Sur, Parque Polvoranca y Parque Butarque. 2) En el núm de arbolado de alineación se indica el arbolado total del municipio, a exceptión de los que forman parte de las zonas excluidas mencionadas anteriormente. 3) Dentro del Plan Madrid Dpura, en fase de ejecución.

(Continuación)

MUNICIPIO	SUPERFICIE TOTAL ZONAS VERDES (ha)	SUPERFICIE REGADA ZONAS VERDES (ha)	NÚM. ARBOLADO ALINEACIÓN	ORIGEN DEL AGUA	NÚM. POZOS	COMENTARIOS
Madrid	3.214	921	365.765	Depurada y Potable		1) Excluidos Casa de Campo, M-Río, Parque Lineal del Manzanares, Parque Juan Carlos I, Parque Juan Pablo II, Valdebebas y Cuña de O'Donell 2) Si se tienen en cuenta estas zonas, el total de superficie de zonas verdes en conservación es de 6.315 ha. 3) De las 921 ha regadas, 308,77 ha se riegan con agua Depurada.
Majadahonda	62	62	5.300	Potable y Depurada		1) Cuenta además con 28,7 ha de zonas forestales y 243 ha del Monte del Pilar, de las que 8 ha son regadas 2) Dentro del Plan Madrid Depura, por lo que hay zonas regadas con agua Depurada van en aumento, sin que en este momento se tenga una cifra concreta de la superficie que se riega con este tipo de agua.
Pozuelo de Alarcón	1.000	89	11.135	CYII y de Pozo	8	1) Superficie mantenida de zonas verdes: 311,72 ha (contratas) + 10,91 (Brigada municipal de Parques y Jardines) = 322,63 ha. Resto son zonas forestales no mantenidas. 2) Superficie regada = 89,47 ha (se han excluido las zonas forestales). 3) Tipo de agua: 70% agua del CYII y un 30% agua de Pozo, sin especificiar si este agua es Potable o Depurada.



(Continuación)

MUNICIPIO	SUPERFICIE TOTAL ZONAS VERDES (ha)	SUPERFICIE REGADA ZONAS VERDES (ha)	NÚM. ARBOLADO ALINEACIÓN	ORIGEN DEL AGUA	NÚM. POZOS	COMENTARIOS
Rivas-Vaciamadrid	224	160	44.972	Potable		1) Dentro del Plan Madrid Dpura y ultimando el Proyecto de ejecución de la Red de Reutilización.
Las Rozas de Madrid	297	119	9.555	Potable y de Pozo	4	1) Se han incluido las zonas forestales 2) Dentro del Plan Madrid Dpura, en fase de proyecto.
San Sebastian de los Reyes	154	154	9.153	Potable (88 ha), Depurada (56 ha) y de Pozo (10 ha)	3	1) Datos de Zonas Verdes Públicas de Gestión Municipal. 2) Dentro del Plan Madrid Dpura.
Torrejón de Ardoz	218	218	12.629	Potable, Depurada y de Pozo		1) Dentro del Plan Madrid Dpura. Todo se está pasando a agua Depurada.
Valdemoro	130	42	7.500	Potable y de Pozo		1) Se riega con agua de Pozo en momentos puntuales y en parques antiguos. 2) Dentro del Plan Madrid Dpura.
TOTAL ZONAS VERDES	6.701	2.910	681.443		27	

Sólo se incluyen en la tabla los Ayuntamientos que de forma voluntaria han querido participar a la encuesta, por eso encontramos que no están todos los Ayuntamiento de más de 50.000 habitantes de la Comunidad.

En la Tabla 3 se muestran los campos de golf federados de la Comunidad de Madrid y su superficie.

Tabla 3. Campos de Golf Federados en la Comunidad de Madrid

Municipio	Clubes Federados	N.º de hoyos	Superficie estimada (hectareas)
Puerta de Hierro	Real C. de la Puerta de Hierro	45	87,5-100
La Moraleja	Golf la Moraleja	45	87,5-100
Madrid	Club de campo Villa de Madrid	45	87,5-100
San Sebastián de los Reyes	R.S.H.E. Club de campo	45	87,5-100
San Sebastián de los Reyes	Jarama Race	27	52,5-60
Villaviciosa de Odón	Club de Golf Lomas-Bosque	27	52,5-60
Madrid	Club de Golf Olivar de la Hinojosa	27	52,5-60
Torrejón de Ardoz	Club de Glolf B.A. de Torrejón	18	35-40
El Escorial	Real Club de Golf la Herrería	18	35-40
Las Matas	Nuevo Club de Golf de Madrid	18	35-40
Villanueva de la Cañada	Golf la Dehesa	18	35-40
Alalpardo	Golf los Retamares	18	35-40
Majadahonda	Club de Golf las Rejas	18	35-40
Boadilla del Monte	Golf Santander S.A.	18	35-40
Arroyofresno	Centro de la R.F.E.G.	18	35-40
Aranjuez	Golf Jardín de Aranjuez	18	35-40
Alcalá de Henares	Club Deportivo Básico el Encín	18	35-40
Cuatro Vientos	C.D.S.C.E.A. Barberán y Collar	9	17,5-20
Alcalá de Henares	El Robledal Golf	9	17,5-20
Pozuelo de Alarcón	Campo de Golf de Somosaguas	9	17,5-20
Cuatro Vientos	Centro Deportivo Militar la Dehesa	9	17,5-20
Villa del Prado	Club de Golf Encinar	9	17,5-20
Aranjuez	Club de Golf Aranjuez	9	17,5-20
El Escorial	Asoc. de G. Villa de el Escorial	9	17,5-20
Alcorcón	Club de Golf Green Alcorcón	9	17,5-20
Boadilla del Monte	Club de Golf las Encinas de Boadilla	9	17,5-20
Alcobendas	Golf Park Entertainment S.A.	9	17,5-20
San Fernando de Henares	Club de Golf Palacio del Negralejo	9	17,5-20
Madrid	Centro de Tecnificación de la F.G. de Madrid S.A. (Público)	9	17,5-20
Galapagar	Green Paddock	9	17,5-20
Majadahonda	Golf Center Majadahonda/Gowfing	9	17,5-20
Madrid	Green Canal	9	17,5-20
Colmenar Viejo	Golf Colmenar	9	17,5-20

Fuente: Federación Española de Golf.

Aunque en las tablas anteriores no se incluye la superficie de zonas verdes privadas, ni tampoco otros campos deportivos que no sean golf, nos sirven para hacernos una idea de la **importancia de las zonas verdes en la Comunidad de Madrid** y de la **magnitud de las instalaciones** necesarias para su conservación, sobre las que esta guía propone actuar.

Mantener los **espacios verdes** de forma **sostenible**, esto es, exigiendo un bajo consumo de recursos en su conservación, debe ser un objetivo prioritario a alcanzar por las distintas Administraciones, Empresas Públicas y Privadas, Profesionales y por la sociedad en general.

Aunque actualmente se proponen medidas concretas para el ahorro y la eficiencia energética en 7 sectores (Industria; Transporte; Edificación; Servicios Públicos; Equipamiento residencial y ofimático; Agricultura; y, Transformación de la Energía), no existen medidas concretas definidas para el ahorro y la eficiencia energética de las instalaciones de zonas verdes y campos deportivos.

Estas medidas podrían englobarse dentro de algunos de los sectores anteriormente citados, como en Edificación, cuando se trate de zonas verdes que se integran o son anexas a un edificio (público o privado); en Servicios Públicos, cuando se trate de los parques y jardines públicos gestionados por los Ayuntamientos, Empresas Públicas y Privadas (a través de procedimientos de licitación); en Industria, si consideramos al sector del Golf como una industria; incluso en Agricultura, si tenemos en cuenta que existen campos de golf, y otros campos deportivos, que se desarrollan en el medio rural e incluso forman parte de comunidades de agricultores regantes.

Para alcanzar el ahorro y la eficiencia energética en este tipo de instalaciones, será necesario actuar no sólo sobre los factores que afectan directamente al consumo energético, sino también sobre aquellos que afectan al consumo de agua, y que están directamente relacionados con el consumo de energía debido a la estrecha relación que existe entre ambos recursos.

En la eficiencia energética de las zonas verdes se hace imprescindible trabajar el **binomio agua/energía**, esto es, en la medida en la que consigamos ahorrar y ser más eficientes en el uso del agua estaremos consiguiendo también ahorrar y ser más eficientes en el uso de la energía.

Esta estrecha relación se basa en que se necesita agua para producir energía en la mayoría de los métodos de generación, mientras que la energía es necesaria para extraer, tratar y distribuir agua así como para limpiar el agua usada y contaminada (ver Figura 1). Y como consecuencia de esta estrecha relación entre agua y energía, el diseño y operación de los sistemas de agua y de aguas residuales, donde se incluyen las instalaciones de riego, deben considerarse aspectos energéticos.

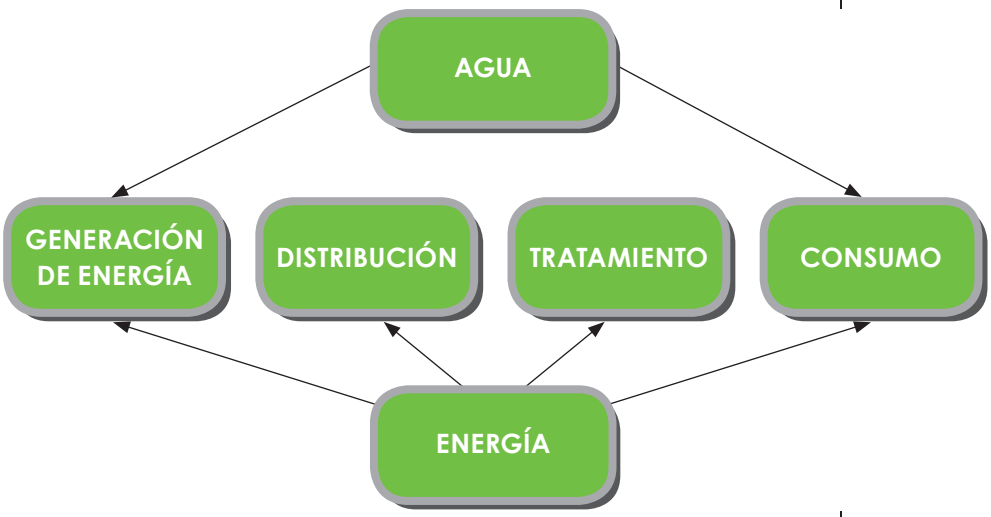


Figura 1. Marco integrado de agua y energía. Fuente: Wang, Y. D.; Integrated Policy and Planning for Water and Energy. Universities Council on Water Resources Journal of Contemporary Water Research & Educación. Issue 142, Pages 46-51, August 2009.

El **agua y la energía son dos recursos esenciales para la vida**. La situación actual de ambas y sus perspectivas futuras a nivel global, se reflejan en una palabra: **ESCASEZ**. Se hace necesario integrar la gestión de estos dos recursos sabiendo que están **intrínsecamente relacionados**.

Para disponer de un orden de magnitud sobre el gasto de agua en el riego de zonas verdes urbanas, y ser conscientes de la importancia de la eficiencia energética de las instalaciones que las mantienen, queremos hacer referencia a los datos publicados por el periódico ABC (fecha 1 de Junio de 2012) en los que la Junta de Gobierno del Ayuntamiento de Madrid aprueba el gasto plurianual (dos ejercicios) correspondiente al **alumbrado público**, que asciende a 15,5 millones de euros anuales, y al agua que se gasta en el **riego de parques y jardines** y otras instalaciones municipales, que asciende a 14 millones de euros anuales. Es decir, el gasto de agua municipal casi se equipara al gasto de alumbrado público.

Aunque actuar sobre la eficiencia energética de alumbrado público y del agua aplicada en el riego de parques y jardines puede reportar un importante ahorro económico a los Ayuntamientos, la realidad es que actualmente se están realizando muchas actuaciones de ahorro y eficiencia energética en alumbrado público y casi ninguna en el agua de riego de las zonas verdes públicas.

2. AGUA

En el caso del agua, los campos de golf son los que hacen un seguimiento más exhaustivo del consumo.

En el resto de instalaciones públicas y privadas, en las redes de agua potable, es habitual encontrarnos que no existen contadores independientes de la red de riego y que por tanto es difícil discriminar el gasto de agua en el riego de las zonas verdes.

Esto suele ser así en pequeños jardines privados, donde no suele existir un contador independiente para el agua destinada al riego dentro del domicilio particular.

Pero también nos encontramos esta misma situación en instalaciones de zonas verdes públicas que dependen de Ayuntamientos y grandes zonas ajardinadas privadas, donde las superficies de zonas verdes alcanzan ya tamaños y consumos de agua importantes.

En estos casos, lo que sí suele existir es una estimación del agua que se aplica en el riego, aunque si no se han tenido en cuenta averías y otras posibles incidencias relacionadas con la gestión del riego y el mantenimiento de la instalación, esta estimación pueda alejarse mucho de la realidad.

Esta situación cambia cuando se trata de riego de zonas verdes con aguas regeneradas. Las redes de agua regenerada son recientes, actualmente hay muchos kilómetro en ejecución, y su uso está limitado a riego de zonas verdes, baldeo de viales, limpieza de alcantarillado y estanques de tormentas, así como otros usos autorizados (riego de campos de golf, viveros, etc.). Por eso, las nuevas infraestructuras y el control y la gestión de estas redes, permiten un mayor control del consumo de agua destinado a riego.

Uno de los principales objetivos de esta guía es concienciar al sector, y a la sociedad en general, sobre la necesidad de conocer el gasto

de agua para poder gestionar su uso. Si no se conoce el consumo de agua, ni los factores que afectan a ese consumo, difícilmente podemos controlar y gestionar de forma eficiente las instalaciones, y difícilmente podremos ahorrar agua y hacer un uso más eficiente de este recursos cada vez más escaso.

Las principales actuaciones que actualmente se están llevando a cabo para hacer un uso más eficiente del agua en la Comunidad de Madrid son:

- Reajuste del precio del agua.
- Reutilización de las aguas depuradas (Plan Madrid Dpura).
- Evitar pérdidas en los sistemas de conducción.
- Fomentar el uso de sistemas de riego eficientes.
- Seleccionar de plantas de bajas necesidades hídricas

En cuanto a evitar las pérdidas en los sistemas de conducción, usar sistemas de riego eficientes y seleccionar plantas de bajas necesidades hídricas, no vamos a comentar nada en esta introducción ya que serán temas analizados en detalle en los capítulos posteriores de esta guía.

Sin embargo, se hace necesario comentar brevemente, las actuaciones que se refieren al precio del agua y a la reutilización de aguas depuradas.

2.1. El reajuste del precio del agua

España es el país de Europa con mayor estrés hídrico.

Históricamente, el precio del agua en Europa no ha reflejado el verdadero coste financiero del abastecimiento de agua ni los costes económicos para el medio ambiente. Las consecuencias hasta ahora son contaminación y escasez de agua.

Según la EEA (Agencia Europea de Medio Ambiente), poner **un precio justo al agua podría incentivar un uso más eficiente del agua y la innovación tecnológica.**

Es por esto que a finales de 2012, un plan rector para proteger las aguas europeas «Proyecto para salvaguardar los recursos hídricos de la UE», publicado por la Comisión Europea, esbozará la legislación futura en este ámbito.

En España, recientemente la OCU (Organización de Consumidores y Usuarios) ha comparado las tarifas de agua en 52 ciudades (ver Figura 2), comprobando que el **precio del agua en España**, para un supuesto de uso medio, es de **1,39 euros el m³.**

Para poder llegar a la conclusión de cuáles son las ciudades con el agua más cara o más barata, se revisaron las tarifas municipales de agua en 2009, 2010 y 2011.

Del estudio de la OCU se obtuvo que la ciudad española donde el servicio de agua es más caro es Murcia: 2,6 €/m³. Cádiz, Alicante, Las Palmas, Barcelona y Ceuta también están entre las ciudades más caras por estar por encima de los dos euros por m3. Y las ciudades más baratas son Palencia (0,68 €/m³) y Guadalajara (0,78 €/m³).

En ese estudio también aparece la ciudad de Madrid, donde el servicio de agua cuesta 1,77 €/m³.

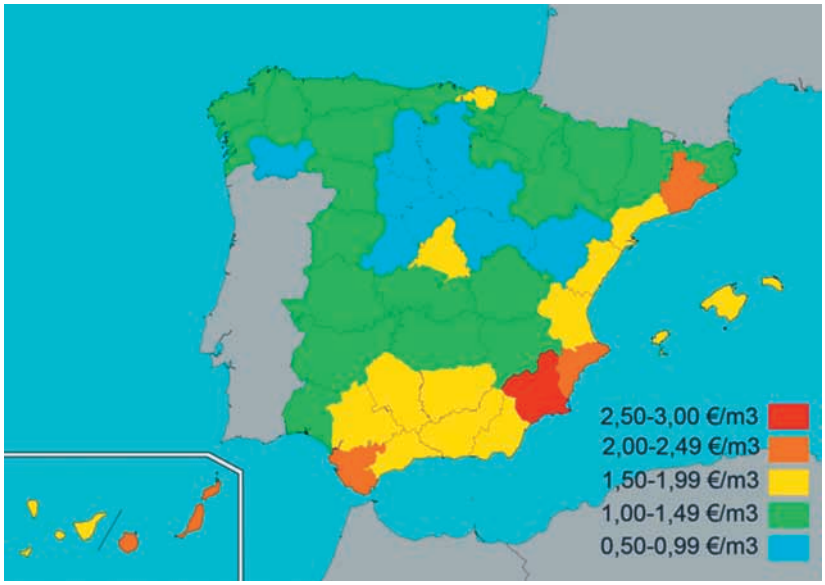


Figura 2. Mapa de España por provincias según el precio que se paga por el agua (€/m³). Fuente: OCU.

Si nos comparamos con el resto de países europeos, la Comisión Europea presentaba en mayo 2012 el «documento Evaluación del programa nacional de reforma y del programa de estabilidad de ESPAÑA para 2012» donde resaltaba que las **tarifas pagadas en España por el consumo de agua, son de las más bajas de la UE.**

En resumen, el coste que actualmente pagamos por el agua está por debajo de su precio real, lo que implica que en los próximos años se prevea un **aumento del coste de este recurso** y que nos equiparemos más al precio que pagan por el agua otros países europeos, que con una mayor disponibilidad de este recurso llegan a pagar hasta tres veces el precio que los españoles pagamos por el agua.

2.2. Reutilización de las aguas depuradas.

La reutilización de aguas depuradas para el riego de zonas verdes y campos de golf de la Comunidad de Madrid, debe analizarse desde dos puntos de vista, por su importancia medioambiental y por el impacto económico que está suponiendo para muchas instalaciones, públicas y privadas.

En la Comunidad de Madrid, el responsable del ciclo integral del agua es la empresa Canal de Isabel II. Su ámbito de aplicación es la captación, el tratamiento, la comercialización, la distribución y control de calidad del agua potable en la Comunidad de Madrid, así como la depuración del agua residual en el mismo ámbito a excepción del municipio de Madrid.

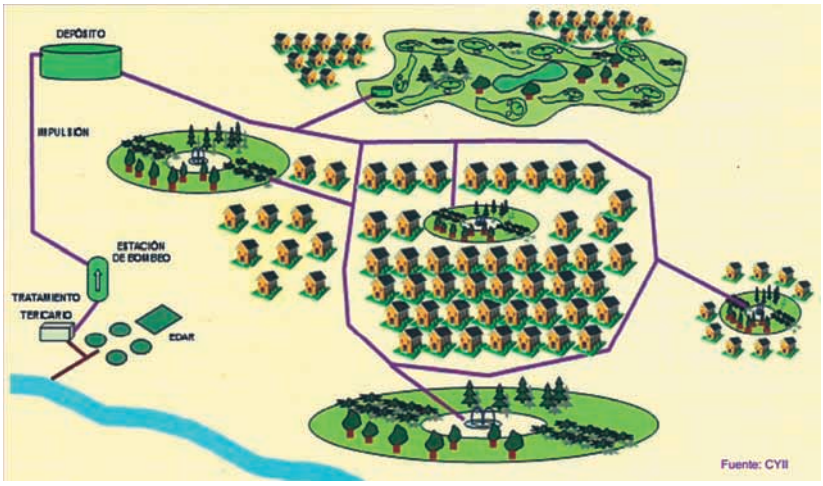


Figura 3. Ciclo integral agua regenerada. Fuente: Canal de Isabel II.

En la actualidad, el Canal de Isabel II está poniendo en marcha el Plan Madrid Dpura, que pretende disponer de 70 hectómetros cúbicos anuales, un 13 % del agua derivada para consumo, para dar servi-

cio a 50 municipios y regar 9.000 hectáreas de zonas verdes públicas, campos de golf, usos industriales y baldeo de calles.

En el 2010, se habían suscrito convenios con un total de 44 municipios y 25 campos de golf, y el volumen de agua regenerada que se produjo en ese mismo año para su reutilización fue de 6.817 millones de metros cúbicos.

Se describen a continuación las ventajas más relevantes de la reutilización de las aguas depuradas para el riego de zonas verdes:

- La más importante es preservar el agua potable (de 1.ª calidad) sólo para uso humano.
- Asegurar agua de riego en caso de sequía, ya que lo normal es que en periodos de sequía se prohíba el uso de agua potable para el riego de zonas verdes y campos de golf para salvaguardar la disponibilidad de agua potable para el consumo humano.

  En el caso de los campos de golf, la prohibición del riego durante 3 días en verano supondría la pérdida del césped y su reposición tendría casi el mismo coste que construir un campo de golf nuevo. Seguramente el campo de golf no podría hacerse cargo de este coste y se vería obligado a cerrar.

  La prohibición por sequía, no afecta, sin embargo, a aquellas zonas verdes y campos de golf que se riegan con agua regenerada, y por tanto el uso de este recurso asegura a estas instalaciones su conservación durante los periodos de sequía.
- Se ahorra en el coste del m^3. El agua regenerada es más barata que el agua potable.

  Existen sin embargo algunos Ayuntamientos en la Comunidad de Madrid que están exentos del pago de agua potable usado en las instalaciones municipales, donde se incluye el riego de las zonas verdes públicas. En este caso, el agua regenerada supone un incremento muy importante del gasto y por tanto no es ningún ahorro, ya que empiezan a pagar el agua regenerada para el riego de las zonas verdes públicas.
- Se preservan los acuíferos del subsuelo.

Y los principales inconvenientes son:

- Malos olores ocasionales.
- La legislación vigente sólo permite regar durante la noche.

- El agua regenerada no es apta para uso en fuentes ornamentales por posibles problemas sanitarios.
- A veces, pueden darse efectos tóxicos en las plantas.

En cuanto a la tarifa que se aplica al uso de agua regenerada, el *Decreto 179/2011, de 29 de diciembre, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueban las tarifas máximas de los servicios de aducción, distribución, alcantarillado, depuración y agua reutilizable en el ámbito de la Comunidad de Madrid*, en su actualización del 1 de febrero de 2012, establece lo siguiente:

La tarifa del servicio de agua reutilizable se estructura en los servicios de regeneración y transporte.

La regeneración comprende las labores de preparación y tratamiento necesarios (terciarios, complementarios, de acondicionamiento y afino) aplicados sobre aguas residuales previamente depuradas para producir caudales con las características físico-químicas y microbiológicas adecuadas para su reutilización, entregadas a la salida de la planta.

El transporte es el servicio de conducción del agua reutilizable desde la planta de regeneración hasta el punto de suministro que entronca con el sistema de distribución del usuario.

Las tarifas de agua reutilizable serán de aplicación a aquellos usuarios que contraten un consumo bimestral inferior a 150.000 metros cúbicos:

- La **tarifa del servicio de regeneración** consta de una parte variable en función de los porcentajes de los volúmenes consumidos sobre los contratados y una parte fija denominada cuota de servicio en función de la disponibilidad del mismo:

  La parte variable se estructurará del modo siguiente:

  — Para un consumo menor al 25 % del caudal contratado: 0,3019 euros por cada metro cúbico consumido.

  — Para un consumo de entre 25 % y el 75 % del caudal contratado: 0,2204 euros por cada metro cúbico consumido.

  — Para un consumo mayor al 75 % del caudal contratado: 0,1388 euros por cada metro cúbico consumido.

  Se facturarán todos los metros cúbicos al precio del último metro cúbico.

La parte fija se denomina cuota de servicio y se estructurará del modo siguiente:

— El importe bimestral de la cuota de servicio (se entiende el bimestre formado por sesenta días), expresado en euros, será 5,7305 euros multiplicado por un factor «iR» y por los metros cúbicos/día contratados.

— Factor «iR» del servicio de Regeneración: Es el porcentaje de la inversión realizada por la Sociedad Gestora, respecto al total de inversión acometida en las infraestructuras de regeneración, desde las que se pone a disposición del usuario el agua reutilizable. En cada caso se realizará el análisis y cálculo de la inversión efectuada, con el fin de asignar dicho factor de forma individual por cada cliente.

• La **tarifa del servicio de transporte** consta de una parte variable en función de los porcentajes de los volúmenes consumidos sobre los contratados y una parte fija denominada cuota de servicio en función de la disponibilidad del mismo: Servicio de Coordinación Legislativa y Relaciones Institucionales Decreto 179/2011, de 29 de diciembre:

La parte variable se estructurará del modo siguiente:

— Para un consumo menor al 25 % del caudal contratado: 0,0576 euros por cada metro cúbico consumido.

— Para un consumo de entre 25 % y el 75 % del caudal contratado: 0,0420 euros por cada metro cúbico consumido.

— Para un consumo mayor al 75 % del caudal contratado: 0,0265 euros por cada metro cúbico consumido.

Se facturarán todos los metros cúbicos al precio del último metro cúbico.

La parte fija se denomina cuota de servicio y se estructurará del modo siguiente:

— El importe bimestral de la cuota de servicio (se entiende el bimestre formado por sesenta días), expresado en euros, será de 5,8363 euros por un factor «iT» y por los metros cúbicos/día contratados.

— Factor «iT» del servicio de Transporte: Es el porcentaje de la inversión realizada por la sociedad gestora respecto al total de inversión necesaria para la ejecución de las infraestructu-

ras de transporte, definidas en el apartado anterior. En cada caso se realizará el análisis y cálculo de la inversión efectuada, con el fin de asignar dicho factor de forma individual por cada cliente.

Es necesario volver a hacer hincapié en la relación entre el agua y la energía, que queda de manifiesto en la descripción de la tarifa del agua regenerada, ya que tanto la regeneración como el transporte del agua regenerada son procesos de consumo energético. El ahorro de agua regenerada va a tener una mayor incidencia en la eficiencia energética del ciclo del agua de la Comunidad de Madrid, porque el agua regenerada es un recurso energéticamente más caro que el agua potable.

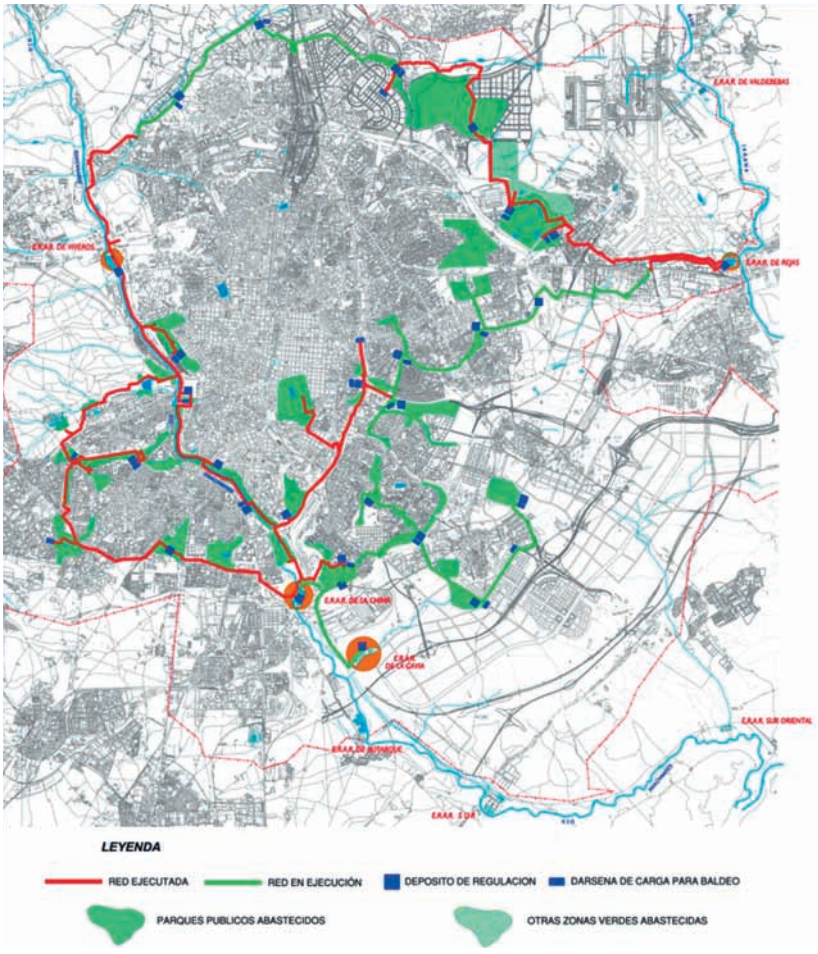


Figura 4. Plano red de agua regenerada del Ayuntamiento de Madrid. Fuente: Ayuntamiento de Madrid

La situación que nos hemos encontrado en las instalaciones de riego suscritas al Plan Dpura, es la siguiente:

- 44 Ayuntamientos suscritos en el 2010 al Plan Madrid Dpura.

  La mayor parte de los Ayuntamientos riegan con agua potable, regenerada y de pozo.

  Algunos disponen ya de agua regenerada para el riego de parques y jardines públicos. La situación más habitual que nos encontramos es que todavía no riegan el total de las zonas verdes municipales con este recurso o que se encuentran en fase de proyecto o de ejecución de las infraestructuras necesarias para el riego de las zonas verdes públicas con agua regenerada. Esto significa que el consumo de agua potable sigue siendo muy importante.

  El uso de agua regenerada en los municipios representa por un lado preservar los recursos hídricos y, por otro, un importante ahorro económico por el uso de un recurso más barato.

  Esto no se cumple en aquellos municipios que hasta ahora han estado exentos del pago del agua, donde el riego con agua regenerada supone un importante incremento de los coste de operación de los sistemas de riego.

- Los campos de Golf más importantes de la Comunidad de Madrid están suscritos al Plan Madrid Dpura, en total 25. Sólo unos pocos disponen ya del agua regenerada para el riego, por eso la mayoría riega con aguas subterráneas (concesión de la Confederación correspondiente) hasta que el Plan Madrid Dpura llegue a sus instalaciones. La concesión de aguas subterráneas está condicionada a la disponibilidad de agua regenerada.

  En el caso de los campos de golf, el coste del metro cúbico de agua regenerada respecto al coste del metro cúbico de agua de pozo (en el que se tiene en cuenta coste del agua más coste energético sistemas de impulsión), puede multiplicarse hasta diez veces.

En la situación económica actual, con los recortes presupuestarios que se están aplicando en el sector a nivel público y privado, parece complicado poder hacer frente a una subida del precio del agua, que sin duda va a fomentar la gestión eficiente de este recurso, pero que también sin duda va a favorecer la reducción de zonas verdes, en contra del bienestar de las personas en el caso de las zonas verdes públicas , y reduciendo la zona de juego en los campos de golf.

En el caso del golf, el sector se está movilizando para conseguir convenios especiales con el Canal de Isabel II que les permitan afrontar este momento coyuntural de crisis económica, caracterizado por la disminución de los ingresos y el aumento de los costes operativos. El objetivo del sector es conseguir un precio profesional del agua para la industria del golf.

El sector de zonas verdes y campos de golf también nos ha manifestado, y tras analizar las facturas de agua regenerada de diferentes instalaciones, que parece que el Canal de Isabel II no está alcanzando en este sector uno de sus principales objetivos estratégicos, que es «el fomento del uso responsable del agua y su consumo eficiente».

Analizando una de estas facturas y, teniendo en cuenta la descripción de la tarifa incluida en esta introducción, nos encontramos con que la parte fija de la tarifa se calcula con el consumo en metros cúbicos por día de los meses de máxima demanda de la instalación (verano) y que ese término fijo se aplica a todos los meses del año. Esto implica penalizaciones en los meses de invierno debidas a consumos por debajo del 25 % o entre el 25 y el 75 % del caudal contratado (mayor precio) y una tarifa fija muy elevada todo el año, pasando el coste del agua consumida, y por tanto la motivación de ahorrar agua, a un último lugar.

Pareciera que no se está primando que se consuma menos agua, sino que se consuma todo el agua contratada, es decir, que se consuma todos los meses del año el agua del mes punta (julio y agosto).

En la negociación del uso del agua y su precio, el sector también necesita negociar algunos aspectos de la legislación vigente en los que no se han tenido en cuenta necesidades específicas e importantes para el sector, y que son necesarias para la conversión de las instalaciones de zonas verdes y campos de golf de agua potable o de pozo, a agua regenerada.

Nos referimos a Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

Este Real Decreto, entre otras cosas, establece que con aguas regeneradas sólo se podrá regar durante la noche. Sin embargo, el mante-

nimiento de zonas verdes y campos de golf requiere de operaciones o labores que será necesario realizar durante el día, entre ellas, el abonado, y de las que depende su conservación. También, para hacer frente a posibles situaciones especiales en las que sea necesario regar durante el día.

Otra preocupación del sector es, si el Canal de Isabel II, como responsable del ciclo del agua y por tanto del suministro del agua regenerada, y teniendo en cuenta que todas las instalaciones acogidas al Plan Madrid Dpura tendrán que regar durante las mismas horas en la noche, podrá garantizar el suministro de agua regenerada para el riego de todas las instalaciones a la vez. Y sobre todo, qué mecanismos se van a poner en marcha para que en el caso de que haya un problema de suministro, las instalaciones puedan ser regadas y asegurar así su conservación.

También, el sector plantea que si va a pagarse un precio tan alto por el agua regenerada, el Canal de Isabel II debería garantizar unos parámetro de calidad en el agua. Parece que actualmente se garantizan rangos de calidad del agua tan amplios, que pueden darse calidades de agua muy adecuadas para las plantas, pero también, dentro de ese rango garantizado por el Canal, calidades de agua incluso perjudiciales.

3. ENERGÍA

Si nos referimos a la gestión energética de las zonas verdes y campos de golf, las dos principales conclusiones que obtenemos en el sector son, que no existe vinculación entre la gestión del agua y de la energía, y que no se están realizando actuaciones para el ahorro y la eficiencia energética.

En las zonas verdes públicas que se riegan con agua procedente del Canal de Isabel II, nos encontramos con que en el precio del agua ya está incluido el precio energético. Los Ayuntamientos no tienen ninguna vinculación con el ahorro energético y económico que suponen sus actuaciones para conseguir el ahorro y la gestión eficiente del agua y de la energía de sus instalaciones.

En la Tabla 3, se muestra el consumo específico de energía eléctrica del Canal de Isabel II:

Tabla 3. Consumo específico de energía eléctrica:

	2008	2009	2010	Promedio
Consumo específico de energía eléctrica en abastecimiento (en kWh/m^3 de agua para el consumo)	0,525	0,344	0,402	0,424
Consumo específico de energía eléctrica en saneamiento* (en kWh/m_3 de agua depurada)	0,441	0,492	0,449	0,461
Consumo específico total de energía eléctrica (de la empresa en kWh/m^3 de agua gestionada)**	0,493	0,424	0,426	0,448

* Incluye alcantarillado, depuración y gestión de lodos.
** Agua gestionada = agua derivada para el consumo + agua tratada EDAR

Fuente: Canal de Isabel II

En aquellos municipios contactados donde existen sistemas de impulsión para la captación de aguas subterráneas para el riego de las zonas verdes, instalaciones gestionadas por los Ayuntamientos, no se ha realizado ninguna actuación para el ahorro y la eficiencia energética, como podrían ser la realización de auditorías energéticas de los sistemas de impulsión y la optimización de las tarifas municipales.

En los campos de golf contactados donde existen sistemas de impulsión, bien para la captación de aguas subterráneas o bien para el rebombeo del agua regenerada, nos hemos encontrado que sí se ha contactado con empresas energéticas para la optimización de las tarifas, pero que al no tratarse de empresas especializadas en este tipo de instalaciones, no se han analizado los factores que influyen en el ahorro y la eficiencia energética en una instalación de riego, relacionados con su funcionamiento, y sobre todo no se ha tenido en cuenta el agua como factor energético. Po tanto, podemos decir que estas instalaciones no han sido optimizadas.

En cuanto al uso de energías renovables en las instalaciones de riego de zonas verdes y campos de golf, tenemos que decir que no se ha realizado ninguna actuación en este sentido en la Comunidad de Madrid, y tampoco en España.

Tan solo hemos detectado algunas actuaciones en campos de golf, pero que no están relacionadas con la instalación de riego, a pesar de que el riego supone aproximadamente el 75 % del gasto energético en un campo de golf.

Para concluir, podemos decir que no existe la gestión energética en las zonas verdes y campos de golf, que todavía no se están realizando actuaciones en el sector en este sentido, y que está todo por hacer.

Sin embargo, en los últimos meses sí hemos empezado a detectar jornadas técnicas, iniciativas de asociaciones, ferias y congresos, en los que se empieza a hablar de gestión energética en este tipo de instalaciones.

La Comunidad de Madrid quiere ser pionera en el sector con la elaboración de esta guía innovadora para fomentar la gestión energética en zonas verdes y campos deportivos, y concienciar sobre la estrecha relación que existe entre el agua y la energía en este tipo de instalaciones.

La guía pretende ser un manual para empresas y profesionales del sector, tanto públicos como privados, que esperamos sea útil y sobre todo responda a las necesidades presentes y futuras detectadas en el sector.

4. MARCO LEGAL EN LA COMUNIDAD DE MADRID

En este apartado se recoge la legislación vigente a tener en cuenta en el diseño, ejecución y mantenimiento de las zonas verdes y campos de golf de la Comunidad de Madrid:

- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas.
- Plan Hidrológico de la Cuenca del Tajo.
- Normas para el abastecimiento de agua. Revisión 2004. Canal de Isabel II.
- Normas redes de reutilización. Revisión 2007. Canal de Isabel II.
- Tarifa Canal de Isabel II. Tarifa 2012: BOCM nº 311 del sábado 31 de diciembre de 2011 Orden 2304/2011 de 30 de diciembre de 2011.
- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- Real Decreto 1164/2001, de 26 de octubre de 2001, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.

- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
- Resolución de 25 de abril de 2012, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se establecen las tarifas de último recurso a aplicar en el periodo comprendido entre el 1 de octubre y el 22 de diciembre de 2011, ambos inclusive, y en el primer trimestre de 2012 y se establece el coste de producción de energía eléctrica y las tarifas de último recurso a aplicar a partir del 1 de abril de 2012.
- Norma ISO 14001.
- Legislación vigente en cada municipio que afecta a la uso eficiente del agua y de la energía.

Se incluye también la Normativa vigente en la ciudad de Madrid, por ser ésta una ciudad de referencia en la Comunidad y también en España:

- Acuerdo de 2 de junio de 2010 de la Junta de Gobierno de la Ciudad de Madrid, por el que se aprueban medidas para la optimización energética en el Ayuntamiento de Madrid y sus organismos autónomos.
- Criterios para una jardinería sostenible en la ciudad de Madrid. Ayuntamiento de Madrid.
- Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid de 2006. Ayuntamiento de Madrid.

5. OBJETIVOS DE LA GUÍA

Los objetivos de esta guía, destinada a empresas y profesionales del sector, públicos y privados, son:

- Aportar una visión de la situación actual de las zonas verdes y campos de golf en la Comunidad de Madrid.
- Mostrar la estrecha relación que existe entre el agua y la energía.
- Definir los factores que influyen en la gestión energética de las instalaciones de riego de zonas verdes y campos de golf.

- Proporcionar herramientas para analizar estos factores.
- Descripción de los elementos existentes en las instalaciones de riego desde el punto de vista de la eficiencia energética.
- Fomentar el análisis de las instalaciones de riego desde un punto de vista energético.
- Fomentar el ahorro de agua y de energía.
- Motivar el uso de energías renovables en las zonas verdes y campos de golf.
- Descripción de nuevas tecnologías aplicadas en instalaciones de riego, a través de fabricantes, distribuidores e instaladores líderes en el sector de zonas verdes y campos de golf.

2 SISTEMAS DE IMPULSIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Toda la eficiencia energética que veremos en la presente guía, de una manera u otra termina refiriéndose a la **energía ahorrada en la impulsión del agua**. Cuanto menos tiempo trabaje una bomba y cuanta menos presión de trabajo necesite, el sistema será energéticamente más eficiente. Esto se consigue de muchas maneras, tanto a nivel de bombeo, de instalación o de gestión del riego, buscando en definitiva, conseguir esos **tres objetivos**.

- **Menor tiempo de funcionamiento.**
- **Menor presión de trabajo.**
- **Sistemas de riego eficientes.**

Entenderemos como **cabezal de riego,** a todos aquellos sistemas de impulsión destinados para conseguir el **caudal y la presión** necesaria para el riego, incluyendo tanto las bombas de impulsión como todos los elementos destinados para la limpieza y tratamiento del agua de riego.

En la presente guía, se describirán los distintos elementos de un cabezal de riego convencional, indicando donde reside la eficiencia energética y el ahorro de agua, y qué elementos existen actualmente que nos permitan garantizar un mayor ahorro. Podemos ver en la Foto 1 el sistema de impulsión de un campo de golf de 18 hoyos compuesto por cinco bombas centrífugas multicelulares y una bomba jockey sostenedora de presión, de menor potencia.

Foto 1. Sistema de impulsión de un campo de golf.
Fuente. Audit Irrigation

2. SISTEMAS DE BOMBAS

Una **bomba de agua** es un elemento mecánico alimentado generalmente por energía eléctrica, que extrae el agua habitualmente de un depósito, balsa o pozo, y la impulsa para llevarla a los diferentes puntos de riego donde se necesita esa agua. Existen diferentes sistemas de bombas, pero revisaremos las generalmente empleadas en parques, jardines y campos de golf, atendiendo a su eficiencia energética.

Las **bombas son el principal gasto energético de los sistemas de riego** o de los sistemas de impulsión de agua en general. Para garantizar un caudal y una presión en determinados puntos, se necesita impulsar el agua, lo que supone un enorme gasto energético, que en el caso particular de un campo de golf, puede suponer hasta el 70 % del consumo energético de la instalación.

Por ello, analizaremos ahora los diferentes sistemas de impulsión generalmente utilizados, atendiendo a su eficiencia energética.

3. TIPOS DE BOMBAS EMPLEADAS

Para mover el agua, y sin entrar en grandes desarrollos técnicos de las múltiples bombas existentes, para el riego de campos de golf y par-

ques, que necesitan generalmente medios o altos caudales y medias presiones (entre 3 y 10 bares), generalmente se utilizan las denominadas bombas rotodinámicas, que son bombas cuya impulsión se agua se realiza a través de elementos giratorios.

Dentro de este tipo de bombas rotodinámicas, las diferenciaremos a su vez en función de la dirección de entrada del líquido, distinguiendo entre.

- Axiales, cuando el fluido atraviesa el rodete y los álabes que generan la impulsión, en la dirección del eje de giro.
- Centrífugas, cuando el movimiento del fluido sigue una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor, generando la impulsión por la fuerza centrífuga que genera el giro.
- Centrífugas multietapa, son bombas centrífugas en las que existen varios rodetes impulsores.

Podemos ver aquí en la Figura 1, el esquema del flujo hidráulico y una fotografía de las formas características de cada bomba.

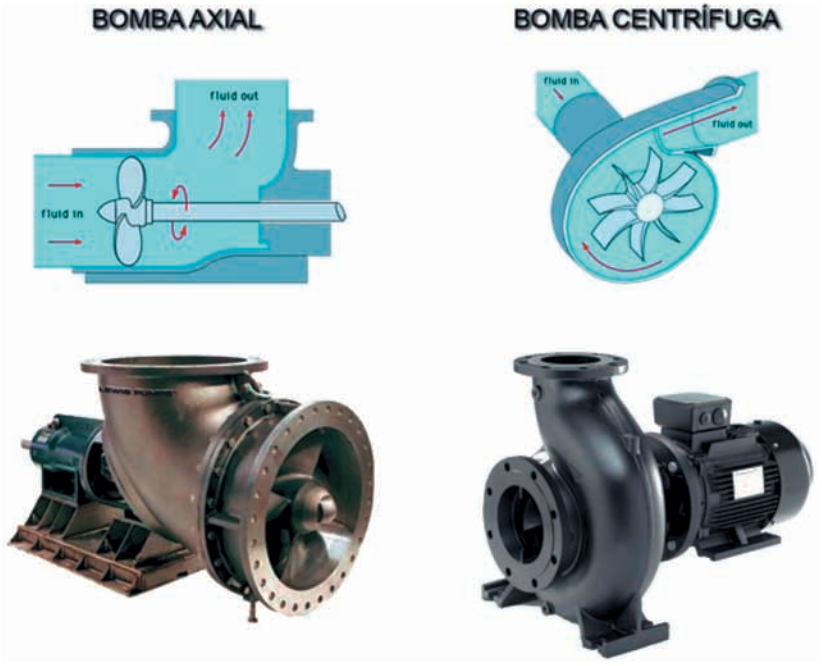


Figura 1. Tipos de bombas. Fuente: Audit Irrigation

Aunque cualquiera de los tipos de bombas tenga como cometido final el suministrar caudal y presión a los diferentes puntos de riego, pode-

mos decir que en general las **bombas axiales son más adecuadas para impulsar grandes caudales a menores presiones, siendo las centrífugas las más adecuadas para menores caudales y mayores presiones.**

Será conveniente siempre, en función del uso de la bomba, de las características de la instalación, y de otros factores que veremos en la presente guía, el empleo sistemas de bombas más eficientes energéticamente.

En particular en las instalaciones de riego, no sólo es necesario garantizar un caudal, sino mantener una presión estable que garantice el correcto funcionamiento de los emisores de riego, que cuando trabajan fuera de sus rangos de presión, su uniformidad y eficiencia disminuye enormemente. Considerando esto, las bombas centrífugas multicelulares, serían las más indicadas para garantizar las condiciones de trabajo del sistema de un modo más eficiente. Podemos ver en la Figura 2 una sección y una fotografía de una bomba centrífuga horizontal multicelular.

Figura 2. Bomba centrífuga horizontal multicelular.
Fuente: Audit Irrigation.

También suele montarse en las instalaciones de riego, y ligado al sistema de impulsión, una **bomba jockey** o sostenedora de presión, generalmente de mucha menor potencia que las bombas generales de la instala-

ción. Estas bombas actúan presurizando la instalación en caso de caída de la misma, cuando el sistema no está funcionando. La ventaja es que para esa presurización sin apenas aporte de caudal, las prestaciones de la bomba jockey son ideales, consumiendo mucha menos energía que si arrancasen las bombas principales para conseguir el mismo efecto. Su montaje en instalaciones grandes suele ser recomendable para disminuir el gasto energético, por lo anteriormente mencionado.

4. EFICIENCIA INTERNA DE UNA BOMBA

Siempre que hablamos de eficiencia interna de una bomba, hablamos del rendimiento de esa bomba, es decir, **cuanta potencia eléctrica necesita para generar una potencia hidráulica** determinada por el sistema. De este modo, podemos entender que, conforme se impulsa agua de riego, va existiendo una pérdida de energía, que se refleja en el esquema de potencias de la Figura 3.

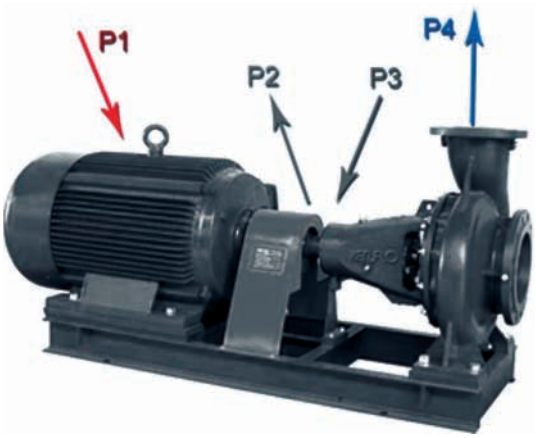


Figura 3. Esquema de potencias en una bomba. Fuente: Audit Irrigation.

P1 es la **potencia eléctrica** absorbida por el motor.
P2 es la **potencia mecánica** en el eje motor, o potencia nominal.
P3 es la **potencia absorbida por el eje** de la bomba
P4 es la **potencia hidráulica** entregada al fluido.

La potencia perdida entre P1 y P2, corresponde a las pérdidas eléctricas (efecto Joule), pérdidas magnéticas (reluctancia magnética del aire), pérdidas en el hierro (corrientes de Foucault) y pérdidas mecánicas (por rozamiento). Su relación es el denominado rendimiento mecánico.

Rendimiento mecánico= P2/P1

La potencia perdida entre P3 y P4, es debido a los rozamientos y turbulencias que se producen en el interior de la bomba, y a su relación se le denomina rendimiento hidráulico.

Rendimiento hidráulico=P4/P3

La relación entre la P2 y P4, o entre la potencia nominal y la potencia hidráulica generada, es lo que se denomina rendimiento de la bomba o eta.

Rendimiento (eta) = P4/P2

El valor de P4 se obtiene de la siguiente manera

P4 = r x g . Q . H

P4 es la potencia en watios, r la densidad del líquido en kg/m^3, Q el caudal en m^3/sg, y H la presión a altura manométrica suministrada por la bomba.

Aunque entre P2 y P3, también puede existir una pequeña pérdida de energía, generalmente es depreciable su valor en comparación con las otras pérdidas producidas.

Las **bombas más eficientes** energéticamente, son aquellas en que su rendimiento o **eta sea el más alto posible.** Los rendimientos dependen de muchos factores, tanto de los materiales empleados, la forma de los impulsores, el régimen de trabajo, etc…, pero es muy importante saber que pueden existir en mercado bombas con un bajísimo rendimiento, estando en torno al 20 %, hasta bombas mucho mejor diseñadas y fabricadas, alcanzando en algunos casos valores cercanos al 80 % de rendimiento o superiores. La diferencia entre uno y otra sería de cuatro veces más energía, para satisfacer las mismas condiciones de suministro.

5. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA

Cuando decidimos diseñar y proyectar un cabezal de riego, lo primero que tenemos que conocer, aparte de las características particulares de nuestra instalación (sistema de riego, caudales de las acometidas, presiones de trabajo, tiempos de riego entre otras cosas) y seleccionar el tipo de bomba óptimo para nuestra instalación, debemos conocer siempre las **curvas características** de una bomba, que son exclusivas de cada bomba o equipo de bombas.

Una curva característica es una gráfica que relación caudal en abscisas y presión en ordenadas. Esa curva que crea, es la denominada **curva de trabajo de una bomba.** A **mayor caudal** que demande la instalación, **menos presión** tendremos y viceversa.

En general, en cualquier instalación de riego sin una centralización y automatización avanzada del riego, es muy complicado trabajar a un caudal constante durante todo el ciclo de riego, ya que la gran cantidad de sectores, de diferentes caudales y las posibilidades de gestión, no garantizan ese funcionamiento a un caudal fijo. Esto implicaría, que según varíen las condiciones de caudal en el ciclo de riego lo harán también las condiciones de presión, obligando al sistema a trabajar a una presión superior o inferior a la necesaria representando un mayor gasto energético. En el primer caso, porque el sistema impulsará a una presión superior a la necesaria; en el segundo, porque esa falta de presión aguas abajo no garantiza la uniformidad y eficiencia del riego, lo que significará que habrá que regar más tiempo para cubrir esas deficiencias.

Podemos ver aquí, por ejemplo, en el Gráfico 1, la curva característica de una bomba centrífuga multicelular vertical, de potencia nominal P1 de 22 kW vemos en azul, la curva característica de la bomba caudal/presión, y en negro la curva de rendimiento eta de la bomba.

Ejemplo: Supongamos que la instalación y el bombeo se ha diseñado para un caudal máximo de 90 m^3/h, y una presión necesaria de 6,5 bar. Como vemos, la condición 1 cumple con lo exigido y con el óptimo de rendimiento del sistema, del 78,9 %. Pero al no ser ésta las condiciones reales, lo que ocurriría en caso de bajar la demanda de caudal a 50 m^3/h, como vemos en la condición 2, es que la presión subiría hasta los 8,5 bar, además de disminuir el rendimiento a un 66,1 %, que representa un 12 % menos de eficiencia.

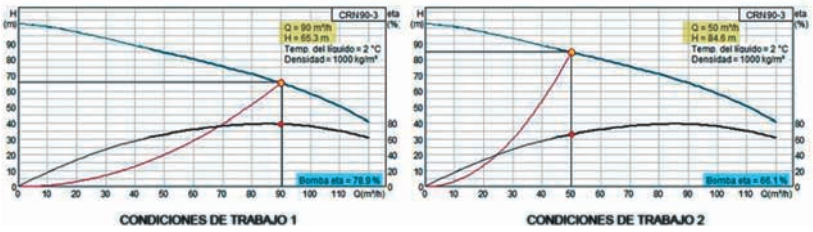


Gráfico 1. Curva característica de una bomba con dos condiciones de trabajo. Fuente: Wincaps de Grundfos.

Es común tanto en parques y jardines como en campos de golf, que lo que se pretenda es garantizar una **presión mínima de trabajo** necesaria para el perfecto funcionamiento de los sistemas de riego, pero generalmente es muy complicado a la hora de regar el mantener un caudal fijo como ya hemos visto. Como vemos en el gráfico, el no contemplar estos parámetros, puede significar **que perdamos eficiencia energética** en la impulsión, al ir **trabajando a diferentes caudales, y no en el óptimo de la curva de la bomba.**

Por ello, a la hora de diseñar y proyectar un equipo de impulsión, debemos conocer previamente cuales van a ser las condiciones de trabajo necesarias en el sistema, pensando tanto en presente como en futuras ampliaciones, y así definir perfectamente el sistema de bombeo a emplear, que nos garantice tanto las condiciones de trabajo como la eficiencia energética.

La utilización de **gestores de caudal** en la programación, como veremos en el capítulo de automatización del riego, mitigaría casi completamente este tipo de problemas, haciendo trabajar al sistema en su óptimo de eficiencia energética y garantizando las condiciones de suministro.

6. VARIADORES DE FRECUENCIA O VARIADORES DE VELOCIDAD

Acabamos de ver cómo las bombas trabajan únicamente en los **puntos de su curva,** aunque con una **mínima tolerancia** arriba y abajo de la curva, como refleja el Gráfico 2, en la que vemos la curva de trabajo de una bomba de potencia nominal P2 de 75 kW, y en sombreado azul las zonas de trabajo.

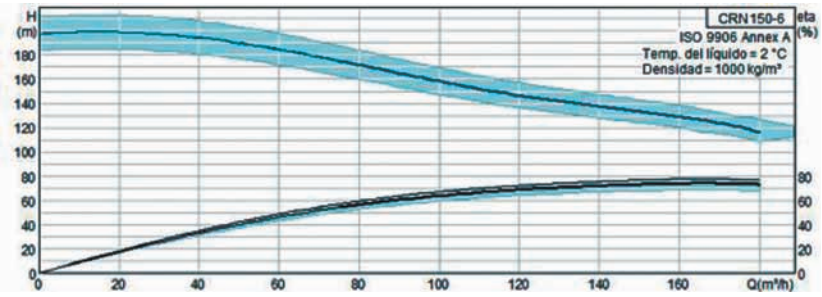


Gráfico 2. Curva característica de una bomba con sus tolerancias.
Fuente: Wincaps de Grundfos

Cuando una bomba arranca, el motor comienza a girar generalmente a 2.950 rev/min y, dependiendo de la demanda de caudal, podrá bombear a mayor o menor presión, en función de su curva característica.

Pero desde hace ya bastante tiempo, aunque todavía no sea una práctica habitual, se utilizan los variadores de frecuencia.

Un **variador de frecuencia** es un sistema que se instala junto con el bombeo, de modo que permite el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna, es decir, me permite que varíen las revoluciones de las bombas, **pudiendo trabajar en este caso la misma bomba en diferentes curvas.**

Vemos en el Gráfico 3, las curvas características de la bomba del Gráfico 2, en este caso utilizando un variador de frecuencia. Vemos en la gráfica, diferentes curvas de trabajo para diferentes porcentajes de las rev/min (de 25 % a 100 %), observando como también las curvas de eta se modifican a las nuevas condiciones de trabajo. Toda la zona sombreada en azul corresponde con los posibles puntos de trabajo de la bomba, que prácticamente es para cualquier condición.

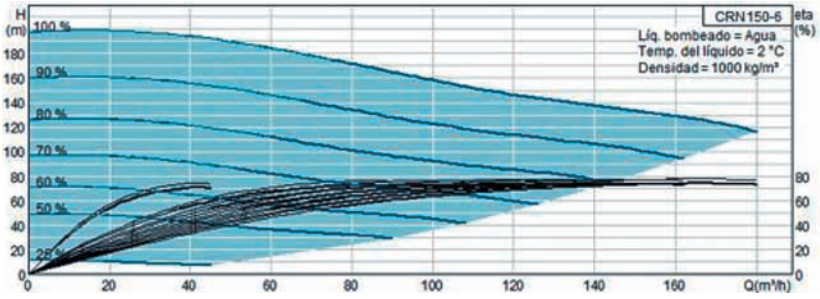


Gráfico 3. Curva característica de una bomba con variador de frecuencia. Fuente: Wincaps de Grundfos

Así, podemos garantizar con la misma bomba condiciones de trabajo diferentes (siempre dentro de un rango), sin por ello perder demasiada eficiencia del bombeo y asegurando las condiciones mínimas necesarias de los emisores de riego, lo que garantizará también un riego eficiente y uniforme.

Ejemplo: Podemos ver en el Gráfico 4 el mismo ejemplo que el Gráfico 1, pero esta vez con dos condiciones de trabajo diferentes, y utilizando en este caso un variador de frecuencia. Vemos que para la condición 1

(1,90 m^3/h, y 6,5 bar de presión), la eficiencia es del 78,8 %, al igual que en el caso sin variador, ya que estaríamos en el mismo punto de la curva. Pero para la condición 2 (50 m^3/h y presión también de 6,5 bar), el variador regula las rev/min al 89 %, siendo la eficiencia del 70 %, cuatro puntos por encima de la eficiencia sin el variador.

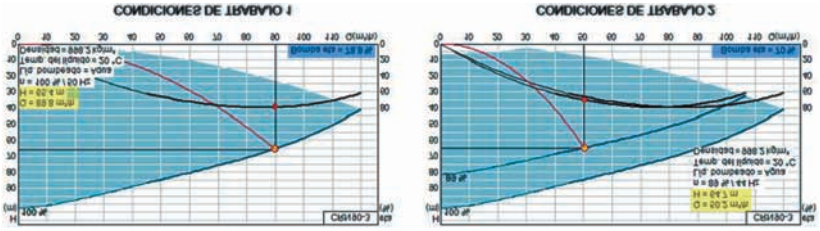


Gráfico 4. Condiciones de trabajo de una bomba con variador de frecuencia. Fuente: Wincaps de Grundfos

7. EFICIENCIA DEL MOTOR. MOTORES DE ALTO RENDIMIENTO

La eficiencia del motor y el empleo de motores de alto rendimiento, mejora mucho la eficiencia energética de los sistemas de impulsión. Para ello, comentaremos primero algunos datos del mercado a tener en cuenta:

— Muchos motores están sobredimensionados.

— Los motores de menor potencia presentan el mayor potencial de ahorro de energía.

— La mayor parte de los motores no son de alto rendimiento.

— La mayor parte de los motores no son comprados por su usuario final, sino que forman parte de un equipo cuyo fabricante es el que compra el motor.

— El gasto de energía eléctrica de un motor es mucho mayor que su coste de adquisición.

En la Unión Europea, una asociación de fabricantes de material eléctrico llamada CEMEP (The European Commitee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics) presentó en 1998 un esquema de clasificación de los motores de acuerdo con su rendimiento. Esta clasificación establecía 3 categorías:

- EFF 1 (Alto rendimiento)
- EFF 2 (Rendimiento mejorado)
- EFF 3 (Rendimiento estándar).

En un mercado globalizado, para la promoción efectiva de los productos de eficiencia energética ha sido requerida la adaptación de normas de rendimiento energético internacional.

Para esto, en 2007 se pone en marcha un nuevo sistema de clasificación que sustituye a las clases de rendimiento EFF de CEMEP y en el que se definen tres niveles de clasificación:

- **IE3 (Eficiencia "Premium")**
- **IE2 (Alta eficiencia)**
- **IE1 (Eficiencia estándar)**

Para 2015 está previsto que se defina el cuarto nivel **IE4**, que implicará una **eficiencia del 99 %.**

El IE1 es el nivel de eficiencia estándar, equiparable a la que se tenía anteriormente en el nivel EFF2 de la normativa anterior, como vemos en la Figura 4.

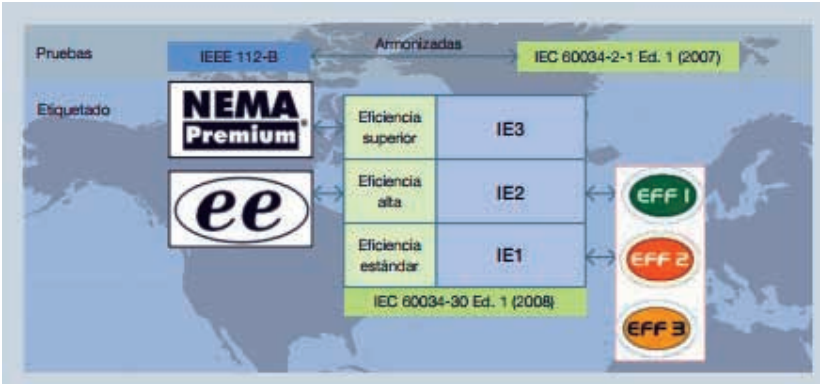


Figura 4. Clases de eficiencia a escala mundial. Fuente: Revista ABB 3/2009

Los motores fabricados de acuerdo a esta norma llevan una etiqueta con la clase de eficiencia y con el rendimiento a plena carga expresado en tanto por ciento (%). Se recomienda a los fabricantes que indiquen también los rendimientos a 50 % y 75 % de la plena carga.

Según el Reglamento (CE) Nº 640/2009 de la Comisión de 22 de julio de 2009 por el que se aplica la Directiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para los motores eléctricos, solo podrán comercializarse en el mercado europeo motores de 2 a 6 polos, que como mínimo tengan una eficiencia energética IE2.

Entre las ventajas que suponen los motores de alta eficiencia destacan:

— De media reducen su pérdida de energía más de un 40 %.

— Más y mejores materiales significan que el motor funciona a menor temperatura, incrementando la vida del motor y mejorando su factor de servicio.

— Menor corriente de arranque y mayor vida útil de los rodamientos.

— Menor mantenimiento preventivo y menores vibraciones.

— El incremento de la inversión en estos motores puede ser amortizado muchas veces durante la vida de motor. **Sólo el 1 % del total de su coste pertenece al precio de compra.**

Teniendo en cuenta lo anterior, las **actuaciones** a llevar a cabo para el ahorro y la eficiencia energética en los motores que forman parte de los sistemas de impulsión de los sistemas de riego de zonas verdes y campos de golf, deben ser las siguientes:

— Identificar el tipo de motor que forma parte del sistema de impulsión del sistema de riego.

— Sustituir los motores existentes por motores de alto rendimiento, es decir, por un motor IE1 o de rendimiento superior.

8. INSTALACIÓN DE GRUPOS DE BOMBAS.

Aunque en el mercado existen bombas capaces de generar altos caudales y altas presiones, generalmente las bombas se instalan formando **grupos de impulsión.** De este modo, podemos conectar **bombas en paralelo,** si lo que necesitamos es generar **más caudal, manteniendo la misma presión,** o **bombas en serie,** si lo que queremos es **aumentar la presión, manteniendo el caudal.**

Vemos aquí, en el **Gráfico 5,** las curvas características de un grupo de tres bombas montadas en serie y en paralelo.

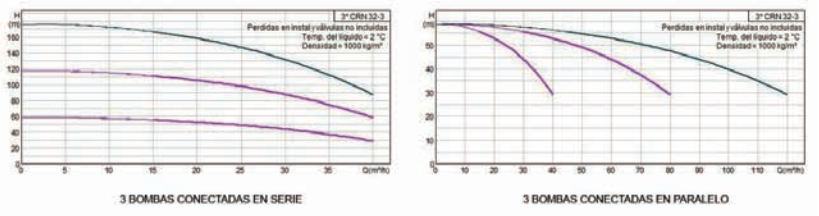


Gráfico 5. Curvas características de bombas en serie y en paralelo. Fuente: Wincaps de Grundfos

La instalación de un conjunto de bombas en serie o paralelo comparado con la instalación de una bomba solamente, que suministre las condiciones de trabajo necesarias, es siempre beneficiosa a nivel energético por varios motivos.

— Al tener varias bombas, podremos **trabajar en diferentes puntos de caudal y presión, sin por ello perder eficiencia energética en el sistema.**

Ejemplo: Supongamos 5 bombas en paralelo comparada con una bomba únicamente. Si las condiciones de trabajo del sistema, son en un momento dado del 40 % de la capacidad máxima para la que se ha diseñado, en el caso de una bomba sólo, la misma estaría trabajando al 40 %, por debajo de su óptimo, con lo que el rendimiento y la eficiencia disminuyen enormemente. Pero esa misma condición, sobre cinco bombas en paralelo, haría a grandes rasgos tener trabajando dos bombas al 100 %, y 3 estarían paradas, aumentando la eficiencia energética.

— Por otro lado, también **mejoraremos la vida útil de la instalación,** al ir alternándose las bombas en cuanto a sus horas de trabajo, no sobrecargando el funcionamiento sobre una bomba solamente. Además, en caso de alguna avería en alguna bomba, no impediría el riego si existen cinco bombas, ya que funcionarían las otras cuatro.

Muchas veces no se instalan los **variadores de frecuencia** por su coste económico en la instalación, pero **generalmente se amortiza en muy poco tiempo.**

Una solución más económica es la de la instalación de **un único variador de frecuencia, que comande únicamente sobre la bom-**

ba que está arrancando, en lugar de instalar uno sobre cada bomba. Así, cuando una bomba arranque, comenzará a aumentar sus revoluciones, hasta que llegue a su punto máximo de funcionamiento, momento en el cual dicha bomba pasará a funcionar al 100 %, y el variador actuará sobre la que acaba de arrancar. Así, conseguiremos un efecto similar al de tener varios variadores de frecuencia, pero reduciendo enormemente la inversión económica inicial.

9. COMPARATIVO ENERGÉTICO SISTEMAS DE IMPULSIÓN

Realizaremos ahora un comparativo energético utilizando **dos equipos, uno sin variador** de frecuencia y otro con variador. Para ambos casos, se aplican las siguientes condiciones de partida.

— Riego de un campo de golf de 9 hoyos, de aproximadamente 20 ha regadas, con un gasto anual total de 200.000 m^3 de agua.

— La simulación se realiza para el consumo medio anual, aportando unos 540 m^3 de agua los 365 días del año.

— Riego por aspersión, con presión mínima de trabajo exigida, 6,5 bar.

— El coste que se ha aplicado por kWh es un coste real de una tarifa eléctrica en horario valle, aplicado igualmente las 24 horas del día, sin discriminar horario.

Las dos simulaciones son para aplicar el mismo volumen de agua diario, 540 m^3/día, pero aplicándolo con cuatro caudales punta diferentes. Uno de ellos al 100 % del caudal recomendado por el fabricante para esa bomba, (90 m^3/h), y los demás a porcentajes inferiores al óptimo (70, 50 y 30 m^3/h). Además, en la simulación 1 se no se utilizan variadores de frecuencia, si haciéndolo en la simulación dos.

Podemos ver en la **Tabla 1,** los valores obtenidos de consumo energético, así como una gráfica del coste económico en función del empleo o no de variadores de frecuencia, y de trabajar en el óptimo o no de caudal de la bomba.

Tabla 1. Simulaciones de riego y consumos energéticos.

SIMULACIÓN 1. SIN VARIADOR DE FRECUENCIA

	100% Q	75% Q	55% Q	35% Q
CAUDAL (m3/h)	90	70	50	30
PRESION (m.c.a)	65,3	74,7	83,4	90,8
% RPM	100%	100%	100%	100%
ETA	67,90%	66,20%	56,50%	39,30%
P1 (kW)	22,80	21,40	20,00	18,70
HORAS	6,00	7,71	10,80	18,00
kWh	136,80	165,09	216,00	336,60
€/kWh	0,132173	0,132173	0,132173	0,132173
€/DIA	18,08 €	21,82 €	28,55 €	44,49 €
€/AÑO	6.599,66 €	7.964,25 €	10.420,52 €	16.238,64 €

SIMULACIÓN 2. CON VARIADOR DE FRECUENCIA

	100% Q	75% Q	55% Q	35% Q
CAUDAL (m3/h)	90	70	50	30
PRESION (m.c.a)	65,3	65,3	65,3	65,3
% RPM	100%	95%	90%	85%
ETA	67,90%	67,20%	60,30%	44,80%
P1 (kW)	22,80	18,50	14,80	12,10
HORAS	6,00	7,71	10,80	18,00
kWh	136,80	142,71	159,84	217,80
€/kWh	0,132173	0,132173	0,132173	0,132173
€	18,08 €	18,86 €	21,13 €	28,79 €
€/AÑO	6.599,66 €	6.884,99 €	7.711,18 €	10.507,36 €

Fuente: Audit Irrigation

Las **conclusiones** que podemos sacar del estudio son las siguientes:

El empleo de **variadores de frecuencia, minimiza el gasto energético.** Aunque cada bomba tiene un óptimo de rendimiento energético, y fuera de esos puntos de trabajo su eficiencia cae, el empleo del variador de frecuencia hace que esa caída de rendimiento no sea tan alta.

Por otro lado, y en referencia a lo anterior, también se observa que **si la bomba trabaja en su óptimo de caudal y rendimiento,** en este caso a 90 m^3/h y 6,5 bar, s**u gasto energético es el menor posible.** Pero en el momento en que trabajamos fuera de esas condiciones, el consumo aumenta enormemente. Esto ocurre en ambos casos, aunque nuevamente, el variador de frecuencia amortigua esta diferencia.

Del ejemplo, observamos que de una instalación sin variador de frecuencia y sin una gestión eficiente del riego, respecto a una instalación con variador y gestión eficiente de los caudales de riego, podemos pasar a triplicar el coste energético de la instalación, como vemos en el Gráfico 6.

	CAUDAL DE FUNCIONAMIENTO (M3/H)			
	100% Q	75% Q	55% Q	35% Q
SIN VARIADOR	6.600 €	7.964 €	10.421 €	16.239 €
CON VARIADOR	6.600 €	6.885 €	7.711 €	10.607 €

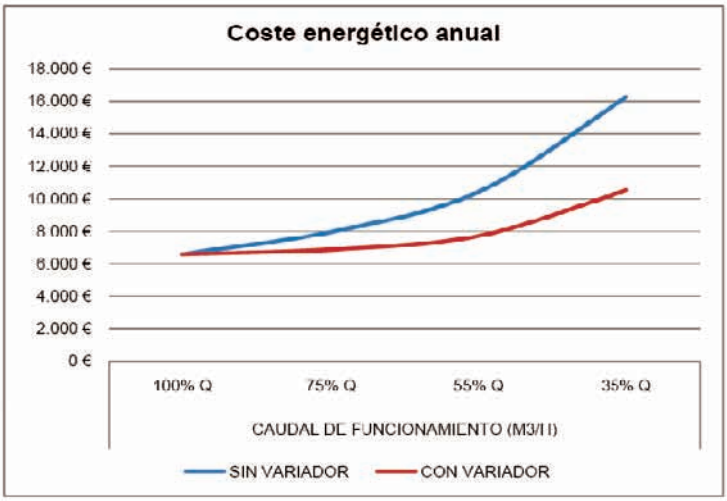


Gráfico 6. Simulaciones de riego y consumos energéticos. Fuente: Audit Irrigation

3 SISTEMAS DE FILTRACIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Entenderemos por **sistema de filtración** a aquellos dispositivos instalados en el cabezal de riego, o en diferentes puntos de la red primaria o secundaria, que nos permiten separar elementos sólidos del agua de riego que pueden una vez introducidos en la red, obstruir las tuberías principales, dañar o incluso anular el correcto funcionamiento de los emisores de riego. Su funcionamiento, generalmente es hidráulico y no necesita de alimentación eléctrica alternativa.

La **eficiencia energética de los sistemas de filtración** radica en dos cosas. Por un lado, en la **eficiencia del sistema de riego**, con su consiguiente ahorro de agua lo que se traduce en un menor funcionamiento del sistema de filtración. Por otro lado, y una vez decidido el sistema a instalar, la elección de las **características del filtro** influirá en la presión mínima de funcionamiento y en que no existan demasiadas pérdidas de energía en el proceso de filtración, como veremos más adelante.

2. TIPOS DE FILTROS POR EL SISTEMA DE FILTRACIÓN

Existen también muchos y variados sistemas de filtración, que varían tanto en el método como en el grado de filtración, aplicando cada sistema a un uso o a una calidad del agua.

Los sistemas de filtración generalmente usados para riego, son los siguientes:

Filtro hidrociclón

Es un sistema de filtración cuyo principal uso es para la **separación de arenas** y otras partículas compactas más pesadas que el agua, por lo que es ideal como filtro previo en instalaciones que captan agua de pozo. La filtración se realiza gracias a la **fuerza centrífuga** que provoca la velocidad de rotación que se genera, al inyectar el agua de forma tangencial, arrastrando las partículas sólidas a la parte inferior. ver Figura 1. No entraremos en mucha definición de éstos filtros, ya que generalmente son empleados como cazapiedras únicamente, no asegurando que la calidad del agua que pasa, garantice un correcto funcionamiento de los emisores de riego.

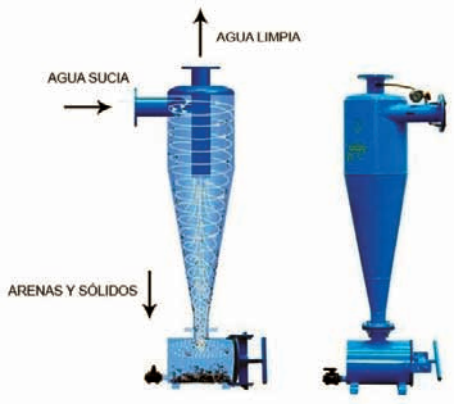


Figura 1. Sistema de filtración de un hidrociclón. Fuente: Jain Irrigation

Filtros de arena

Es el sistema de filtración más utilizado convencionalmente para **acondicionar aguas con gran cantidad de sólidos, algas y material orgánico**, tales como arrastran ríos, balsas abiertas y canales, así como para **eliminar la turbidez** del agua. Son filtros con gran capacidad de filtración en profundidad, con múltiple puntos de retención, y el filtrado se realiza a presión al atravesar el agua la arena del filtro en forma descendente, combinando el **tamizado, el filtrado por adherencia y la sedimentación de partículas**. El único problema es que la velocidad de filtración es muy baja, con lo que se necesitarían muchos filtros para conseguir el caudal típico de una instalación de riego, lo que implica mayor inversión económica y espacio en la instalación, ver Figura 2.

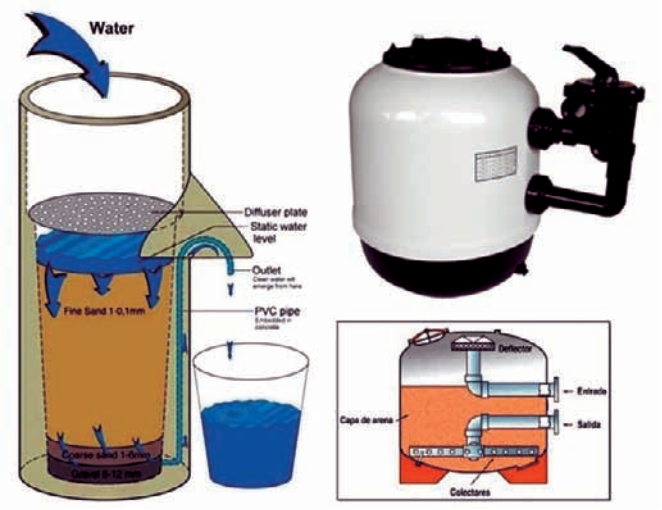


Figura 2. Sistema de filtración de filtro de arena. Fuente: Varios

Filtro de mallas

Los filtros de malla son filtros con capacidad de **filtración superficial**, cuyo fundamento es el paso del agua, **a través de un tamiz cilíndrico**, donde el diámetro del agujero del tamiz, define el grado de filtración. En proporción a su capacidad de filtración, suficiente para los sistemas de riego actuales, los equipos son bastante más pequeños que los de arena, lo que facilita su montaje y ahorro en la instalación. ver Figura 3.

Figura 3. Sistema de filtración de filtro de malla. Fuente: Varios

Filtro de anillas

Los filtros de anillas están constituidos por anillas planas, provistas de unas ranuras, colocadas unas sobre otras y comprimidas, formando el elemento filtrante. Los cruces entre las ranuras de cada par de discos adyacentes, forman pasos de agua, cuyo tamaño varía según las anillas utilizadas. Generalmente se instalan varios filtros pequeños en paralelo, formando lo que se denomina una batería de filtración, garantizando que el agua se filtre a través de varios filtros, asegurando que si alguno se encuentra dañado, el resto seguirá haciendo su función. En cuanto a tamaño, pueden ser similares también a los filtros de malla, ver Figura 4.

Figura 4. Sistema de filtración de filtro de anillas. Fuente: Varios

Estos cuatro tipos de filtros, son los **generalmente utilizados para riego de parques, jardines y campos de golf**.

- Los **hidrociclones** se instalan generalmente previo al cabezal de riego, cuando el agua puede traer arenas y elementos gruesos, para realizar una prefiltración.
- Los de **arena**, además me permiten filtrar con mayor calidad, ya que elimina los restos orgánicos, algas y turbidez que pueda contener el agua, aunque no en todos los sistemas de riego es necesaria tanta calidad de agua.
- Los de **mallas ó anillas**, son prácticamente necesarios para cualquier instalación de riego, para garantizar que no entre suciedad a los emisores de riego, impidiendo su correcto funcionamiento.

3. TIPOS DE FILTROS POR EL SISTEMA DE LIMPIEZA

Otra diferenciación que puede aplicarse a los sistemas de filtración, es en función de cómo **se realiza la limpieza y lavado de los elementos filtrantes** (arena, malla o anillas). Un filtro, conforme va pasando el agua, va ensuciándose, perdiendo su capacidad de filtración y aumentando el consumo energético, al tener que gastar más energía en atravesar el filtro si este está sucio. Por eso, distinguiremos en cuanto al sistema de limpieza entre:

Filtros manuales

En los que la limpieza de los mismos debe hacerse de **forma manual**, accediendo al elemento filtrante del filtro, sacándolo y limpiando los restos acumulados o sustituyendo el mismo. Son los generalmente empleados en instalaciones de riego en las arquetas de electroválvulas, para proteger éstos elementos y evitar suciedad o elementos gruesos en la propia red de riego.

Filtros autolimpiantes

En los que la limpieza es **automática** y programada. Son los más empleados para instalaciones de riego, y ligados generalmente al cabezal de impulsión, aunque también se suelen instalar en determinados puntos de la red primaria. De diferentes maneras, funcionan de modo que cuando el filtro detecta que está sucio, automáticamente realiza su autolimpieza, garantizando nuevamente las condiciones de trabajo del filtro y evitando pérdidas de energía en el proceso de filtración.

La autolimpieza, a grandes rasgos se realiza invirtiendo el flujo del agua y dependiendo del tipo de filtro tendremos:

- En el caso de un **filtro de arena**, al invertir el flujo y meter presión a través de la arena, realizaremos una limpieza de la misma, expulsando al exterior la suciedad. En algunos casos, será necesario la sustitución de parte o la totalidad de la arena.
- En el caso del **filtro de malla**, un elemento hidráulico succiona la suciedad en la totalidad de la malla o la arrastra por medio de unas paletas, expulsándola al exterior.
- En el caso de las **anillas**, la inversión del flujo realiza la separación de las anillas, pudiendo la presión del agua arrastrar la suciedad y expulsarla al exterior.

Vemos aquí, en la Figura 5, un ejemplo de filtro de malla autolimpiante con su mecanismo de autolimpieza.

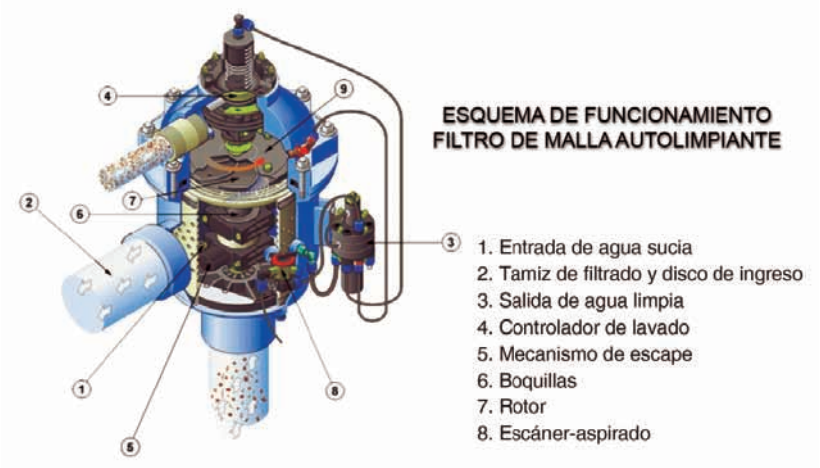


Figura 5. Esquema de funcionamiento de filtro de malla autolimpiante. Fuente: Regaber

La autolimpieza, que garantiza que el filtro siempre se encuentre limpio, se realiza a través de electroválvulas y solenoides, que realizan la inversión del flujo de agua, abriendo o cerrando diferentes cámaras y comunicando con el exterior. Como esto conlleva una programación, éste tipo de filtros vienen siempre con un pequeño programador de pilas, que de modo general, realiza la limpieza programada de dos maneras:

- **Por tiempos fijos:** Donde definimos cada cuanto tiempo queremos que se autolimpie el filtro. Hay que tener en cuenta que en cada limpieza se pierde algo de agua, por lo que tampoco es bueno tener la limpieza continuamente.

- **Por diferencial de presión:** Es la manera óptima y eficiente de programar un filtro autolimpiante. Cuando un filtro se va colmatando, empieza a generar pérdidas de presión en el paso del agua a través del mismo, lo que ligado a dos presostatos, antes y después del filtro, me aportará información de su estado de limpieza. Un filtro limpio, pierde muy poca carga. Estos dispositivos de programación permiten programar la limpieza cuando este diferencial de presión alcanza unos valores establecidos. Generalmente se realiza en intervalos de 5 m.c.a.

4. BATERÍAS DE FILTRACIÓN

Generalmente, tanto los filtros de arena, malla, o de anillas suelen instalarse en grupo, formando las denominadas **baterías o cabezales de filtración**. Al igual que en la instalación de bombas, será mejor tener un conjunto de filtros con la misma capacidad de filtración, que uno solo mucho más grande; tanto por garantías de funcionamiento, como por garantías de filtración en caso de que alguno falle. Podemos ver aquí en la Foto 1, tres cabezales de filtración de los distintos tipos de filtros.

CABEZAL DE FILTRACIÓN DE ARENA

CABEZAL DE FILTRACIÓN DE ANILLAS

CABEZAL DE FILTRACIÓN DE MALLA

Foto 1. Cabezales de filtración. Fuentes: Regaber, STF Filters.

5. GRADOS DE FILTRACIÓN

En parques y jardines de la Comunidad de Madrid, el origen del agua para riego proviene generalmente de depuradoras en el caso del agua reciclada o de la propia red de agua potable del CYII. Siendo el agua potable de buena calidad, el agua regenerada sin embargo puede traer materia orgánica, algas, y algo más de sólidos en suspensión.

En campos de golf, excepto los que empiezan a regar en Madrid con agua regenerada, es muy usual que se extraiga el agua de un pozo o de una balsa, la cual puede estar mucho más contaminada con sólidos, limos, arenas o arcillas, así como restos de materia orgánica e inorgánica, microorganismos, que es necesario eliminar para garantizar el perfecto funcionamiento del riego.

Por esto, es muy importante **conocer la calidad del agua de origen**, y la **calidad del agua que necesitamos según nuestro sistema de riego**, que como veremos adelante depende del emisor final de riego. Dependiendo de esto, analizaremos el mejor sistema de filtración para nuestra instalación, no descartando nunca la posibilidad de instalar **dos sistemas de filtración en serie**, pensado para casos en los que el agua viene en muy malas condiciones. Primero filtramos los elementos más gruesos, y a continuación los más finos, hasta alcanzar la calidad deseada.

Podemos también ver en el Anejo 2, referente a sistemas de filtración por fabricantes, los criterios para la elección del filtro en función de la calidad del agua.

Pero para ello, tenemos que conocer primero el **grado de filtración** a través del espectro de filtración, o tamaños mínimos que tienen las partículas que queremos filtrar, como vemos en la Tabla 1.

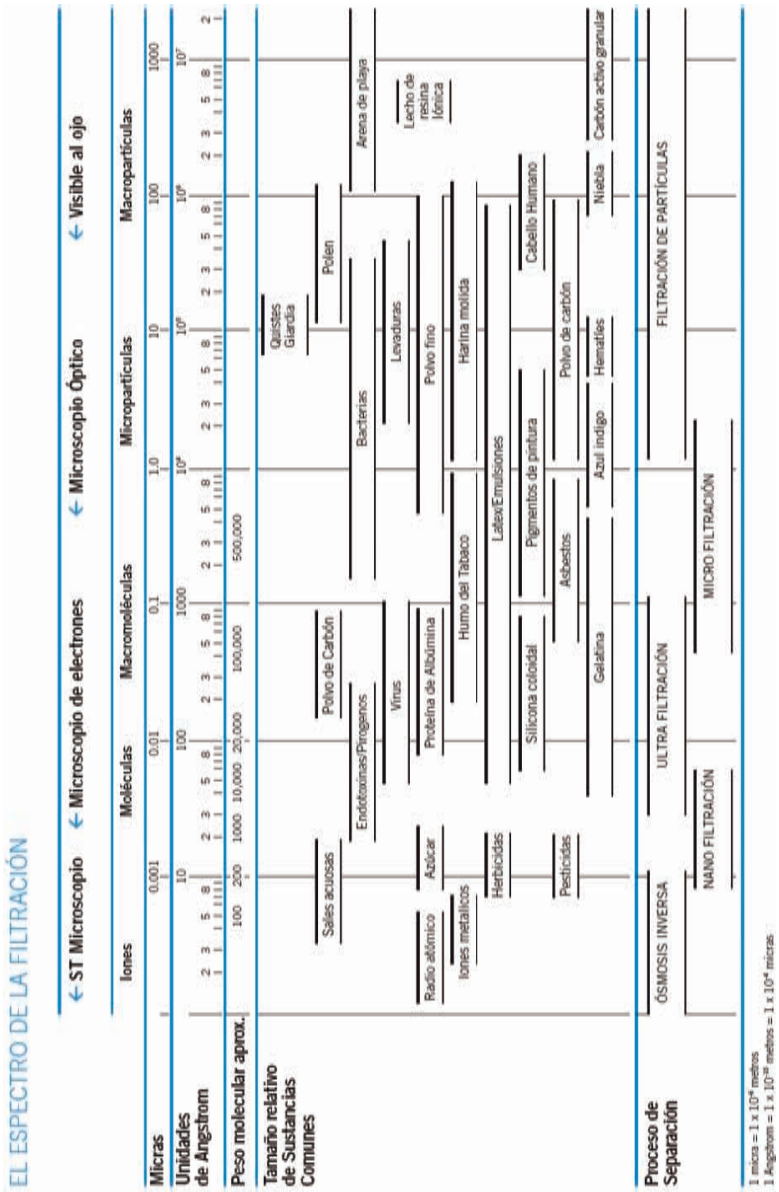


Tabla 1. Espectro de filtración. Fuente: Wasserlab

Los sistemas de filtración para riego, generalmente trabajan en el rango de filtración de partículas entre 1 y 3.500 micras, excepto los hidrociclones en los que por su funcionamiento, la filtración depende de la velocidad que a su vez depende del caudal. En relación a este valor, se observa en la Tabla 2 los rangos de cada sistema de filtración.

Tabla 2. Rango de los diferentes sistemas de filtración.

	MICRAS	
TIPO DE FILTRO	MIN	MAX
FILTROS DE ARENA	0,1	100
FILTROS DE MALLA	10	3500
FILTROS DE ANILLAS	10	800

Fuente: Audit Irrigation

Podemos fácilmente entender que para un riego por aspersión, en el que la salida del agua es a través de un orificio grande, no tengamos los mismos problemas que en un sistema por goteo, cuya salida final es mucho más pequeña.

Los grados de filtración generalmente se miden en **micras o en mesh**.

- **Micra**, es la unidad de medida del sistema Internacional que corresponde a 0,001 mm. 1 mm son 1000 micras.

- **Mesh,** es el número de agujeros o poros que existen en una pulgada lineal, dependiente de la forma del poro.

Por eso, el grado de filtración que generalmente aportan los fabricantes es en mesh o en micras, que como es lógico, son inversamente proporcionales. A mayor tamaño de agujero, menores poros por pulgada lineal.

Pero siempre será un valor más real la **micra**, que determina el tamaño máximo que puede tener un sólido para atravesar el filtro, mientras que el valor en mesh, determina un número de poros por pulgada lineal, pero no conocemos su forma. Podemos ver en la Figura 6, el ejemplo de dos mallas de filtración, con distinto grosor de cable (Ø), ambas de 3 mesh, en la que se observa claramente que el grado de filtración en micras (A), no sería el mismo para ambos casos. Igualmente vemos también 3 imágenes de diferentes soportes de la malla, en las que cada una ocupa una superficie, lo que restará diferente porcentaje de superficie libre respecto al total.

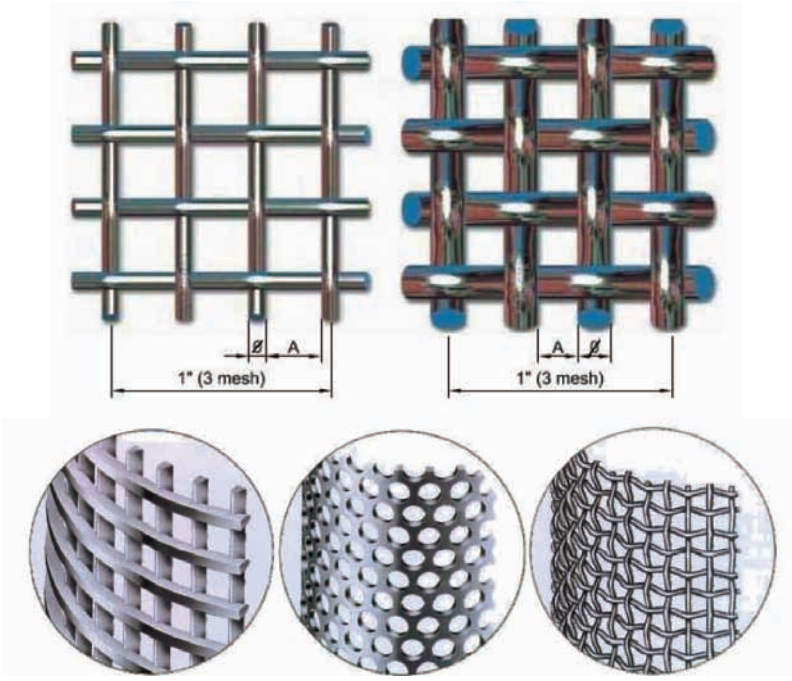


Figura 6. Áreas y soportes de filtros de malla. Fuente: Regaber

Aún así, siempre se pueden establecer unas equivalencias teóricas, como vemos aquí en la Figura 7.

MESH	18	40	80	120	140	200	600
MICRAS	800	400	200	130	100	55	25

Figura 7. Equivalencias entre micras y mesh Fuente: Regaber

Cuando nosotros diseñamos y proyectamos un sistema de filtración, inicialmente debemos de conocer la calidad del agua de origen, y debemos conocer también el sistema de riego que vamos a utilizar, para conocer también el grado mínimo de filtración que necesitamos para garantizar el buen funcionamiento del riego.

La siguiente tabla recoge el tamaño máximo en micras que deben admitirse para su correcto funcionamiento, los diferentes sistemas de riego generalmente empleados en parques, jardines y campos de golf, Tabla 3.

Tabla 3. Grados mínimos de filtración en función del sistema de riego

SISTEMA RIEGO	MICRAS
ASPERSIÓN	200
DIFUSIÓN	200
GOTEO	130

Fuente: Audit Irrigation

¿Por qué es tan importante el grado de filtración a la hora de elegir un equipo?

Lo primero, para garantizar el **correcto funcionamiento de los emisores** de riego.

Ejemplo: Imaginemos un gotero, que necesita para funcionar bien que no existan sólidos con tamaño superior a 130 micras, que sería el tamaño máximo que una partícula debería tener para no obstruir el gotero. Si filtramos a mayor tamaño, podríamos llegar a obstruir el gotero y perder eficiencia y uniformidad en el riego.

Pero existe un error muy común a la hora de seleccionar un sistema de filtración, y esto es que **se tiende a pensar que cuanto mayor sea el grado de filtración, mejor será la misma,** pero esto no es así.

Ejemplo: Si ponemos un grado de filtración muy superior al que realmente necesitamos, estaremos haciendo que el filtro trabaje más de lo necesario, lo que hace que se acumulen más partículas en el filtro en menor tiempo y generará unas mayores pérdidas de carga incidiendo directamente en la eficiencia energética del sistema. También, en el caso de filtros autolimpiantes como hemos visto, estaríamos haciendo que el filtro autolavase cada menos tiempo, lo que significa un mayor gasto de agua y de energía en realizar la filtración.

Por eso, es recomendable no trabajar con grados de filtración muy superiores a los estrictamente necesarios, y tener en cuenta también que, en función de la calidad del agua de origen, pudiera ser recomendable instalar **varios filtros en línea, con diferentes grados de filtración**, pasando del primero con menor grado hasta el último con mayor grado. De este modo, iremos escalonando la filtración, mejorando la eficiencia del sistema y no sobrecargando toda la limpieza a un único filtro.

6. PRESIÓN DE TRABAJO, CAUDALES MÁXIMOS Y PÉRDIDAS DE CARGA

Todos los filtros de los que hemos hablado, necesitan una **presión mínima de funcionamiento** para poder realizar tanto la limpieza como la autolimpieza. Muy bajas presiones, podrían hacer que los filtros no funcionasen correctamente.

Pero además de la presión mínima de trabajo que debe suministrar el sistema para realizar una correcta filtración, es muy importante considerar también las **pérdidas de carga que genera el filtro**, en función del grado de filtración, del volumen de agua y de su grado de limpieza o suciedad.

Vemos aquí, en la Tabla 4, las condiciones de trabajo recomendadas por el fabricante, para tres modelos diferentes de filtros de anillas autolimpiantes. Observamos como a mayor grado de filtración, mayor presión necesaria de trabajo y mayor caudal mínimo de contralavado.

Tabla 4. Condiciones de operación de filtros de anillas autolimpiantes

	SKS 2"	SKS 3"		SKS 4" (Galaxy)
		Baterías lineales	Star system Diamond	
Presión máxima funcionamiento	10 bar. (Atención, si se utilizan válvulas Plaslite normales 6 bar, si son de alta presión 8 bar).			
Presión mínima de filtración	1 bar (lavado stándar) 1,5 bar (lavado agua externa)			
Pérdida de carga admitida	5 m.c.a.			
Presión mínima contralavado	Depende del tipo de anillas utilizado			
400-100 micras	2,8 bar			
55 micras	5 bar			
25 micras	6 bar			
Caudal mínimo contralavado	Depende del tipo de anillas utilizado (a > presión > caudal)			
400-100 micras (2,8 bar)	8 m^3/h	16 m^3/h	48 m^3/h	40 m^3/h
55 micras (5 bar)	10 m^3/h	20 m^3/h	60 m^3/h	50 m^3/h
25 micras (6 bar)	12 m^3/h	24 m^3/h	72 m^3/h	60 m^3/h
Temperatura máxima	70ºC			
Intervalo pH	4 - 13			

Fuente: Regaber

Podemos ver ahora, en el Gráfico 1, las pérdidas de carga producidas en un filtro de malla autolimpiante, en función de las pulgadas del filtro y del caudal demandado. A su lado, aparecerían para este modelo de filtro, los caudales recomendados.

DIÁMETRO ENT/SAL.	CAUDAL RECOMENDADO (m^3/h)
2"	20 – 30
3"	25 – 45
4"	40 – 80
6"	80 – 150

Gráfico 1. Pérdidas de carga y caudales máximos de filtro de malla. Fuente: Regaber

7. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN

Ya hemos visto la importancia que puede tener un sistema de filtración en cuanto a la **eficiencia del riego**. Una ausencia de filtración o un filtro no adecuado para el sistema de riego existente, puede ocasionar en muchos casos el mal funcionamiento del sistema de riego, principalmente para riego por goteo, ya que cualquier elemento que llegue al gotero, puede obstruirlo perdiendo su función. Y como ya hemos visto, cualquier pérdida en la eficiencia del sistema de riego, provocará mayor consumo y mayor gasto energético.

Pero directamente, los sistemas de filtración influyen en la **eficiencia energética**, ya que necesitan **presión para trabajar**, necesitan un **gasto de agua** para realizar la autolimpieza, y genera **pérdidas de carga** durante el proceso de filtración. Cuanto mayor sean estos valores, menor será la eficiencia energética

Por eso, es muy importante:

- Conocer la **calidad de agua de origen**, para establecer el o los equipos de filtración necesarios, para garantizar la calidad aguas abajo, y elegir el grado de filtración adecuado.

- Conocer el **caudal de funcionamiento** de nuestra instalación, a fin de seleccionar un filtro que trabaje dentro de dicho rango de caudales, sin generar grandes pérdidas de carga.
- Valorar la **presión de trabajo** necesaria del filtro para funcionar correctamente, y no sobredimensionarlo. Nuevas tecnologías de filtración permiten la limpieza cada vez a menores presiones de trabajo.

Ejemplo: Observemos como en el caso de la Tabla 4, en función del espectro de filtración, la presión de trabajo aumenta. Imaginemos que vamos a regar por goteo, que necesita una filtración a 130 micras. Si tomamos el rango de filtración correcto, la presión de contralavado es de 2,8 bar, mientras que si el grado que se hubiera instalado fuera de 25 micras, en este caso la presión sería de 6 bar, trabajando el sistema a 3 bar más que lo necesario, sólo para que funcione el filtro, lo que puede suponer un altísimo gasto energético innecesario.

8. COMPARATIVO ENERGÉTICO EN LA FILTRACIÓN

Nuevamente, realizaremos ahora un **comparativo energético en función del sistema de filtración**, comprobando cómo puede perderse energía en una mala elección de un equipo de filtración. Para ambos casos, se aplican las siguientes condiciones de partida.

— **50 ha de zonas verdes** regadas completamente con riego por goteo, principalmente arbustos y muy poca pradera. Presión mínima de trabajo del goteo, 1 bar. **Presión mínima en el bombeo, 3 bar**.

— Consumo anual estimado en **300.000 m³/año**, en base a ET y coeficientes de cultivo medios.

— El bombeo está dimensionado para cubrir el riego máximo en Julio, con **1.600 m³/día**, durante diez horas máximas de riego. Por eso, la simulación se realiza con dos bombas centrífugas multicelulares en paralelo, de 90 m³/h de caudal óptimo cada una, con variador de frecuencia que comanda sobre una de las bombas.

Con estas condiciones de partida, estableceremos dos hipótesis. En ambos casos, se va a emplear una batería de filtración de anillas, con filtros de 3", pero utilizando distinto grado de filtración.

- **Hipótesis 1, grado de filtración de 25 micras**, muy superior al necesario para goteo, y caudal mínimo de 180 m³/h.
- **Hipótesis 2, grado de filtración de 130 micras**, óptimo para goteo, y caudal mínimo de 180 m³/h.

Podemos extraer de la Tabla 4 de las condiciones de operación, como en la hipótesis 1, necesitaríamos 6 bar de presión para realizar el contralavado, mientras que en la hipótesis 2, necesitamos 2,8 bar.

También extraemos de la Tabla 5, el número de filtros que deberíamos instalar de 3 pulgadas, para garantizar el caudal máximo de trabajo de 180 m³/h, suponiendo que buscamos una calidad de agua tipo A<50 ppm. En la hipótesis 1, necesitaríamos 18 filtros, mientras que en la hipótesis 2, necesitaríamos 6 filtros, lo que supone un ahorro económico tanto en los materiales como en la instalación.

Tabla 5. Tabla de selección de número de filtros de anillas.

TABLA DE SELECCION DEL NUMERO DE FILTROS SKS 3"

(Cabezales por limpieza estándar y Star System)

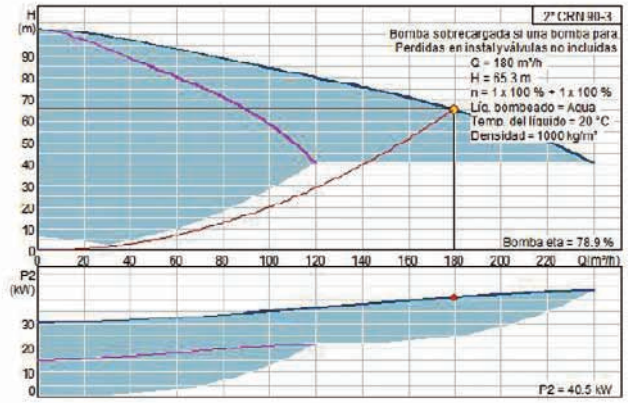
	color mesh micras	Azul/Amarillo 40/80 400 /200			Rojo 120 130			Negro 140 100			Verde 200 55			Gris 550 25			color mesh micras
	N	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	N
	2	79	52	26	69	46	23	59	39	20	42	28	14	21	14	7	2
	3	118	79	39	104	69	35	88	59	29	62	42	21	32	21	11	3
	4	157	105	52	138	92	46	117	78	39	83	55	28	42	28	14	4
	5	196	131	65	173	115	58	146	98	49	104	69	35	53	35	18	5
	6	236	157	79	207	138	69	176	117	59	125	83	42	63	42	21	6
	7	275	183	92	242	161	81	205	137	68	145	97	48	74	49	25	7
	8	314	209	105	276	184	92	234	156	78	166	111	55	84	56	28	8
S.S.	12	471	314	157	414	276	138	351	234	117	249	166	83	126	84	42	12
S.S.	15	589	393	196	518	345	173	439	293	146	311	208	104	158	105	53	15
S.S.	18	707	471	236	621	414	207	527	351	176	374	249	125	189	126	63	18
	m³/h espina	19,6	13,0	6,50	17,25	11,5	5,75	14,75	9,75	5,00	10,5	7,00	3,50	5,25	3,50	1,75	

Fuente: Regaber

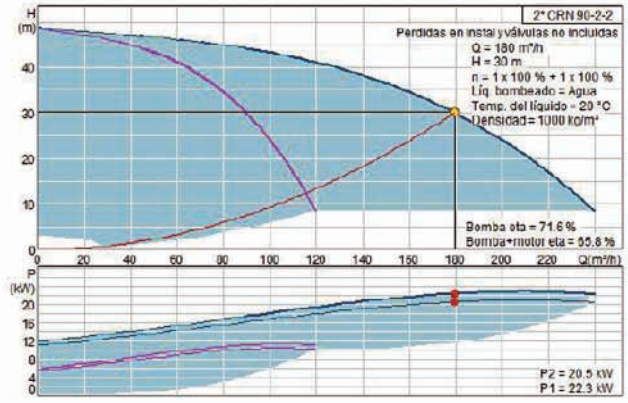
Una vez obtenido el tipo de filtro que vamos a utilizar, buscaremos los dos modelos de bombas que necesitaremos para realizar la impulsión, siendo común en ellas el caudal de 180 m³/h, pero con presión de funcionamiento a 6 bar en la hipótesis 1, y a 3 bar en la hipótesis 2.

Observamos aquí en el Gráfico 2, las dos curvas características de los dos bombeos escogidos, optimizados para garantizar las condiciones de trabajo, con su tabla de potencias consumidas.

HIPÓTESIS 1. FILTRACIÓN A 25 MICRAS



HIPÓTESIS 2. FILTRACIÓN A 130 MICRAS



	Q MAXIMO	PRESIÓN	POTENCIA 2 BOMBAS
HIPÓTESIS 1	180 M3/H	6 BAR	44 KW
HIPÓTESIS 2	180 M3/H	3 BAR	22 KW

Gráfico 2. Curvas características de bombeos de hipótesis 1 y 2.
Fuente: Wincaps de Grundfos

Una vez seleccionadas las características de los dos bombeos, pasaremos a simular el gasto energético de la instalación a lo largo del año, en función de uno u otro sistema elegido, cuantificando el gasto económico en relación a la tarifa de una compañía eléctrica en horas valle, aplicando este valor a las 24 horas del día.

Resultado de la simulación, que vemos en la Tabla 6, es que al tener que emplear la mitad de presión en la hipótesis dos, con una buena elección del sistema de filtración, el ahorro energético final anual se traduce en un 50 %. Evidentemente, este ahorro energético corresponde sólo al **término variable de energía,** aunque el término fijo, en función de la potencia contratada, sería mayor también en la hipótesis 1 (44 kW) que en la hipótesis 2 (22 kW)

Tabla 6. Consumo y gasto energético para las hipótesis 1 y 2.

						CONSUMO ENERGÉTICO kWh		GASTO ENERGÉTICO €	
MES	ET0	m3/mes	m3/día	Horas/mes	€/kWh	H1 - 44 kW	H2 - 22 Kw	H1 - 44 Kw	H2 - 22 Kw
enero	1,33	8.674	285	48,2	0,132	2.120	1.060	280 €	140 €
febrero	1,95	12.677	417	70,4	0,132	3.099	1.549	410 €	205 €
marzo	2,92	19.016	625	105,6	0,132	4.648	2.324	614 €	307 €
abril	3,89	25.354	834	140,9	0,132	6.198	3.099	819 €	410 €
mayo	4,92	32.027	1.053	177,9	0,132	7.829	3.914	1.035 €	517 €
junio	6,23	40.617	1.335	225,7	0,132	9.929	4.964	1.312 €	656 €
julio	7,40	48.207	1.585	267,8	0,132	11.784	5.892	1.558 €	779 €
agosto	6,76	44.037	1.448	244,6	0,132	10.765	5.382	1.423 €	711 €
septiembre	4,63	30.192	993	167,7	0,132	7.380	3.690	975 €	488 €
octubre	2,87	18.682	614	103,8	0,132	4.567	2.283	604 €	302 €
noviembre	1,77	11.510	378	63,9	0,132	2.813	1.407	372 €	186 €
diciembre	1,38	9.008	296	50,0	0,132	2.202	1.101	291 €	146 €
TOTAL AÑO		300.000				73.333	36.667	9.693	4.846

Caudal óptimo del bombeo: 180 m3/h

PORCENTAJE DE AHORRO ENERGÍA: 50%

IMPORTE DE AHORRO: 4.847,00 €

Fuente: Audit Irrigation

4 SISTEMAS DE RIEGO.

1. AGUA Y SUELO

1.1. El agua en el suelo, el agua en las plantas

Antes de entrar a analizar los diferentes sistemas de riego, tenemos que entender los que ocurre cuando una gota de agua llega al suelo y cómo la absorbe la planta, lo que nos permitirá entender mejor el significado de **uniformidad y eficiencia de un riego**.

El agua es el elemento vital para cualquier especie vegetal. Dependerá del tipo de especie elegida, de su adaptación al clima y de su exposición al medio entre otros factores, la cantidad de agua que necesita no sólo para sobrevivir, sino para aportar también el valor ornamental necesario en las especies plantadas en parques y jardines, que en la mayoría de los casos necesitan un aporte hídrico superior al de subsistencia para aportar su valor ornamental. Igualmente, en campos de golf, no se necesita sólo que las praderas sobrevivan, sino que estén en un estado hídrico correcto, una densidad óptima y un perfecto estado fitosanitario, que garantice el juego.

Analizando lo que ocurre cuando aplicamos agua a través del riego y como lo aprovecha la planta, la condición ideal sería aquella en que aportáramos exactamente el agua que se ha consumido desde el último riego. **Agua consumida** tanto en el proceso de **transpiración** de la planta, como por procesos de **evaporación** del agua del suelo o **agua perdida** por drenaje, infiltración o escorrentía. Aportando exactamente esa cantidad, garantizaremos el estado de humedad del terreno óptimo para el desarrollo de las plantas.

Pero antes de que el agua sea aprovechada por la planta, ese agua debe quedarse retenida en el suelo. Y dependiendo del tipo de suelo,

podemos hablar de la **capacidad de retención de agua** y el **movimiento del agua** en un suelo.

1.2. Capacidad de retención del agua en el suelo

Intervalo de humedad disponible

Cada suelo, en base a sus características físicas, químicas, texturales o estructurales, tiene una **capacidad máxima de retención de agua**. Es fácil entender que si un suelo tiene baja capacidad de retención, lluvias copiosas o riegos abundantes, nos llevaría inevitablemente a perder agua bien por escorrentía, infiltración profunda o drenaje, que no es aprovechada las plantas, o simplemente llevar el terreno a encharcamiento, que impide el correcto desarrollo de las especies. Si el suelo no admite más agua, por más que aporte, no tienen capacidad de retenerla. Para determinar ese valor de capacidad de retención de agua, debemos primero entender los siguientes conceptos de.

Suelo saturado

Un suelo saturado es aquel que ha sido mojado abundantemente, llegando a un estado de encharcamiento. Aunque echemos una gota más, el suelo no tiene capacidad de retener más agua.

Capacidad de campo

Es el contenido máximo de agua que es capaz de retener un suelo después de haber sido mojado abundantemente y haber dejado drenar libremente.

Punto de marchitez permanente

Conforme el suelo va perdiendo agua, existe un punto en el cual el agua contenida en el suelo no es aprovechable por la planta, ya que las fuerzas de retención del suelo son mayores que la capacidad de extracción de agua por las raíces de la planta. A partir de ese punto de no extracción de agua, la planta empezaría a marchitarse.

Suelo seco

Un suelo seco es aquel que su contenido en humedad es del 0%, y no podría desarrollarse ninguna especie vegetal.

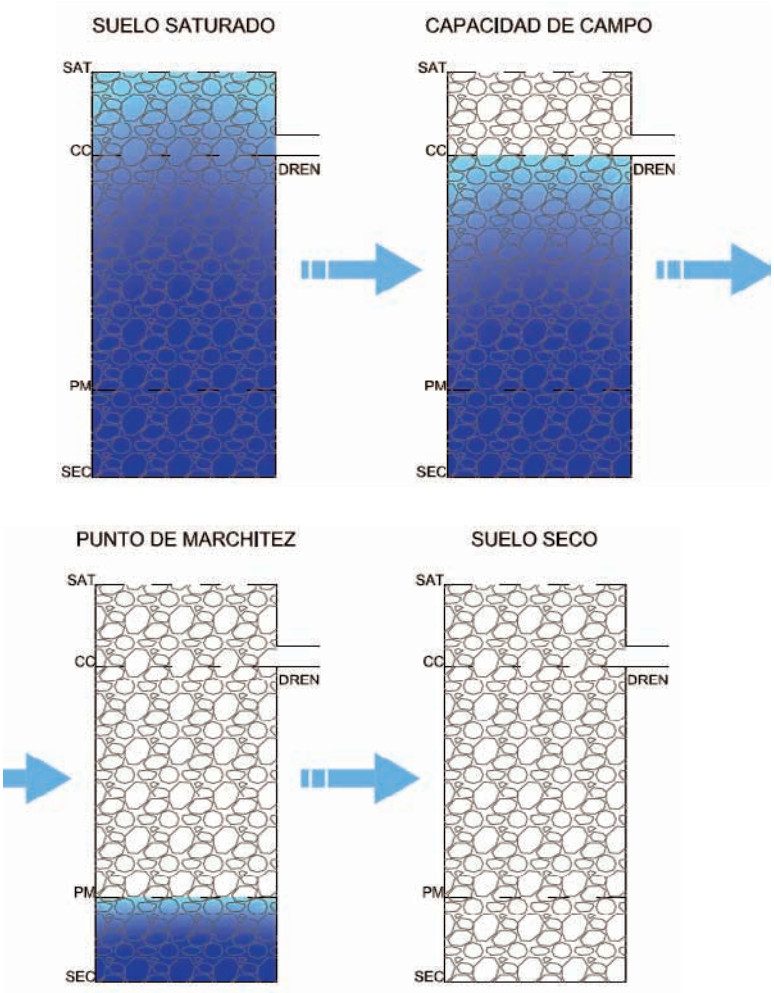
De éstos cuatro conceptos, podemos definir que el **contenido de humedad disponible** por una planta para un tipo de suelo será enton-

ces el comprendido entre el punto de marchitez y la capacidad de campo, siendo estos los valores entre los que una planta puede tomar agua. Por encima y por debajo de estos valores, es agua no disponible (agua por gravedad, agua hidroscópica).

Agua por gravedad, que se pierde por drenaje, infiltración o escorrentía.

Agua hidroscópica, que forma parte de la estructura del suelo, y no es disponible para la planta.

Podemos ver en la en la Figura 1 el contenido de agua en un suelo conforme va perdiendo agua, y en el Gráfico 1 los valores para distintas texturas de suelo.



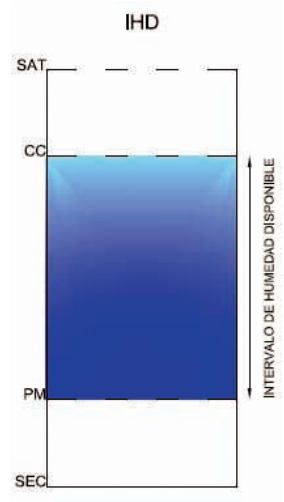


Figura 1. Contenido de agua en un suelo. Fuente: Audit Irrigation

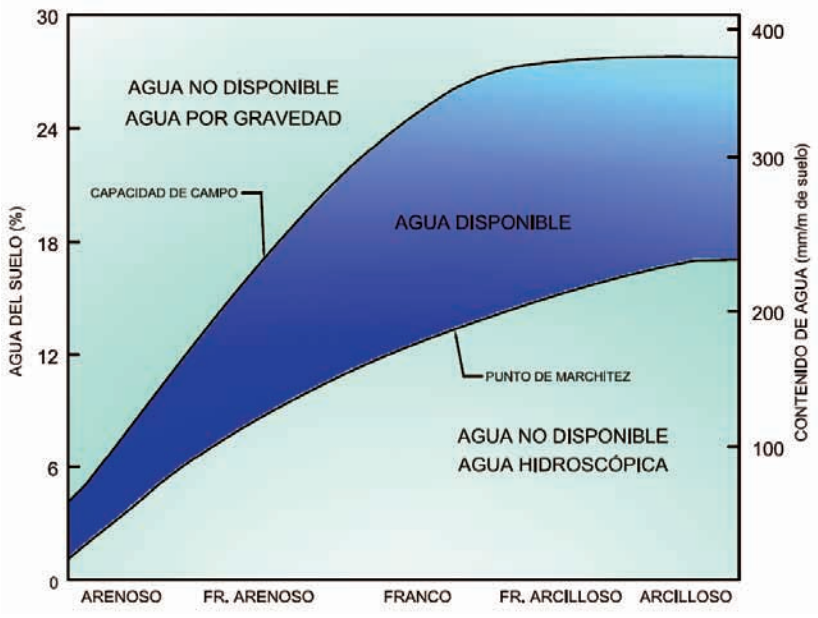


Gráfico 1. Condiciones de humedad para suelos. Fuente: Audit Irrigation

Estos cuatro conceptos que determinan el grado de humedad de un suelo, nos indican cómo debemos regar para aprovechar mejor el agua, y esto consiste en programar y gestionar los riegos de modo que **nunca reguemos a un nivel de saturación, sino como máximo a su capacidad de campo**, y por otro lado no dejemos **nunca el sue-**

lo sin regar si el contenido de humedad se está acercando al punto de marchitez permanente. Evidentemente, en toda esta programación del riego, también debe tenerse en cuenta la especie y la profundidad del sistema radicular para aplicar los riegos de modo que mantengamos con agua la zona que nos interesa. Pero para ello, es necesario conocer también el siguiente punto ó movimiento del agua en el suelo.

1.3. El movimiento del agua en el suelo

Cuando se aporta agua en un suelo, bien a través de lluvia o a través de un riego, el agua va ocupando los poros libres que hay en el suelo. En referencia al movimiento del agua dentro de ese suelo, debemos entender los siguientes conceptos.

Velocidad de infiltración

Es la velocidad con la que el agua se mueve dentro del suelo o la capacidad de infiltración del agua en el suelo, debido a las fuerzas de gravedad.

Permeabilidad o capilaridad

Corresponde al movimiento del agua en cada uno de los horizontes del suelo, debido a fuerzas capilares.

En las siguientes ilustraciones podemos ver en el Gráfico 2, las diferentes velocidades de infiltración en función diferentes tipos de suelo, y en el Gráfico 3 el tiempo y la distribución del agua en horizontal y vertical, cuando se aplica a dos surcos de riego con diferentes texturas de suelo.

	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (mm/h)	
	LIMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
Arcilloso	0	7,2
Arcillo limoso	3,6	15
Franco arcilloso	7,2	15
Franco limoso	7,2	21
Franco arenoso	12	75
Arenoso	36	105

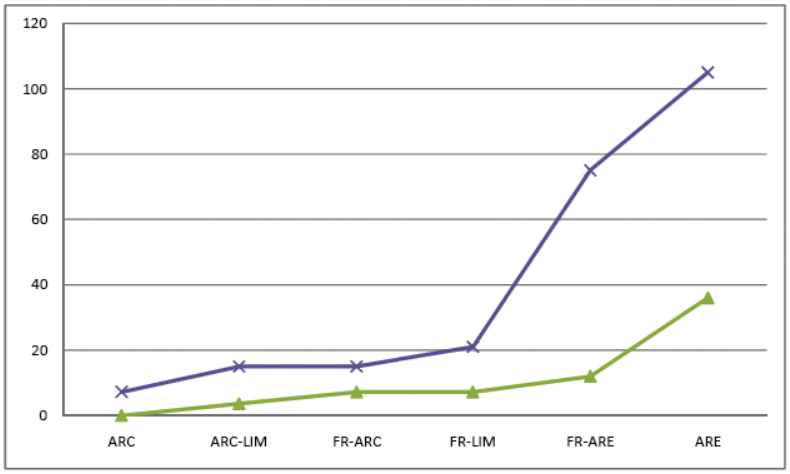


Gráfico 2. Velocidades de Infiltración en función de la textura del suelo. Fuente: Audit Irrigation

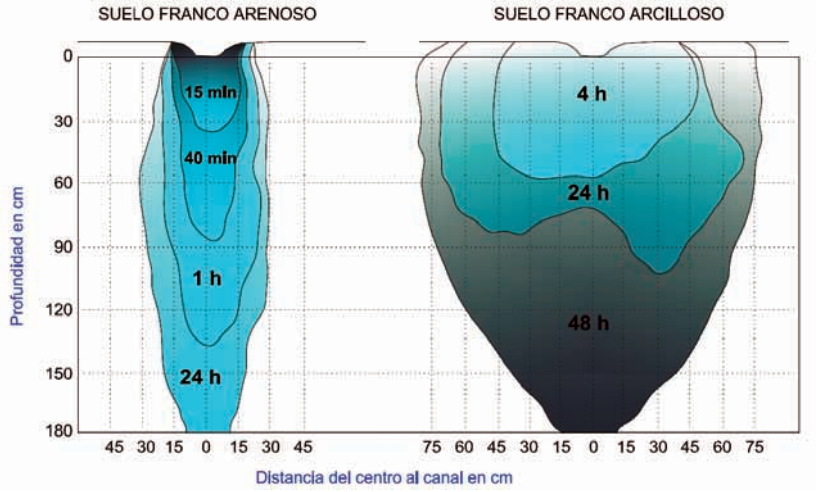


Gráfico 3. Infiltración del agua en suelos de diferente textura. Fuente: Audit Irrigation

En resumen, ambos conceptos y de modo simple, describirían el movimiento del agua en un suelo en vertical descendente, debido a fuerzas gravitatorias, y el movimiento en horizontal o en vertical ascendente, debido a fuerzas capilares. Esto debe de tenerse muy en cuenta a la hora de **programar y gestionar un sistema de riego**, ya que por ejemplo, una muy baja velocidad de infiltración, nos obligaría a realizar riegos de muy baja pluviometría, para garantizar que no haya pérdidas por escorrentía al no tener el suelo tiempo de ir infiltrando el agua aportada. Igualmente, en caso de sistemas de riego por goteo enterrado, que veremos más adelante, es necesario garantizar el movimiento horizontal del agua, utilizando para ello tanto técnicas de mejora de suelo o empleo de goteros de bajo caudal, que garantizarán una distribución más homogénea del agua.

1.4. Necesidades de agua de una planta. Pluviometría de un riego

Ya hemos visto que el **riego perfecto** sería aquel en el que se aportara en cada ciclo, exactamente la **cantidad de agua que se ha consumido desde el riego anterior**. Cuánto más uniforme sea esa aplicación, mayor eficiencia en el agua y la energía tendremos, al no gastar agua de más para cubrir las necesidades de las zonas que han recibido menos agua.

Pero independientemente de la eficiencia del sistema de riego, existen factores climáticos, micro climáticos y de las propias especies vegetales, que nos indican las necesidades hídricas que tiene una zona verde, que evidentemente no son las mismas en función del tipo de plantación. Estos valores están basados en la **evapotranspiración**, valor que puede calcularse en función de parámetros climáticos, pero que generalmente calculan las estaciones meteorológicas, como veremos en el capítulo de automatización del riego basado en el empleo de estaciones meteorológicas.

Evapotranspiración

El concepto de evapotranspiración de modo simple, correspondería al **agua evaporada por un suelo** más el agua transpirada por la**s especies plantadas,** siendo la suma de ambos el agua consumida en total. Los datos que aportan las estaciones climáticas, generalmente vienen expresada en **mm/d**, o lo que es lo mismo, **litros por metro cua-**

drado y día de agua evapotranspirada. Podemos ver en la Figura 2, los componentes del balance del agua en el suelo, siendo el aporte de agua a través de la lluvia o del riego, y el consumo la suma del agua evapotranspirada más la perdida tanto por escorrentía como por filtración profunda.

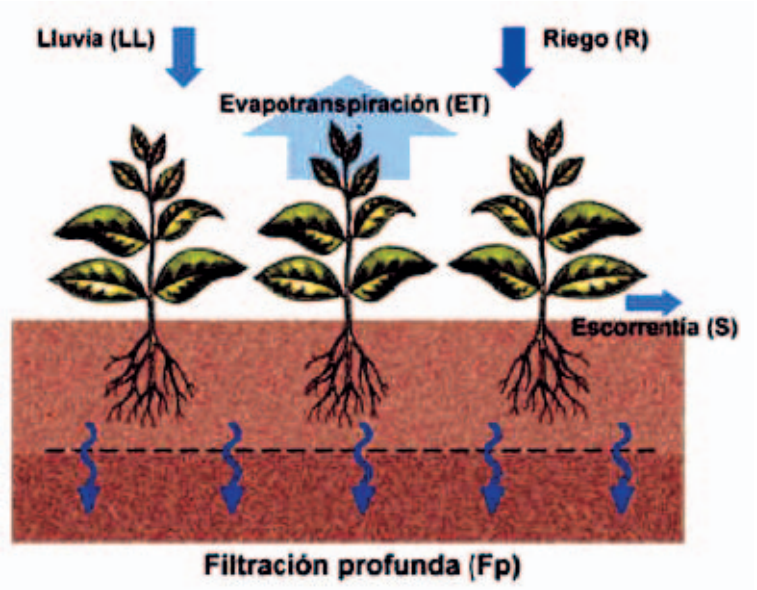


Figura 2. Componentes básicos del balance de agua en un suelo.
Fuente: Consejería Agricultura y Pesca de Andalucía

Otro concepto que deberemos utilizar, para conocer la cantidad de agua que aplicamos en un riego, es la **pluviometría de un riego.** Cuando sea la lluvia la que aporte el agua, hablaremos de **precipitaciones**.

Pluviometría de un riego

La pluviometría de un riego es la **cantidad de agua que aporta nuestro sector de riego**, expresado generalmente en **litros por metro cuadrado y hora, o mm/h**, mismas unidades de medición que cuando nos referimos a las precipitaciones de lluvia. Podemos ver aquí en la Figura 3, las precipitaciones anuales de la Comunidad de Madrid en el año 2004, expresado en este caso en mm/año.

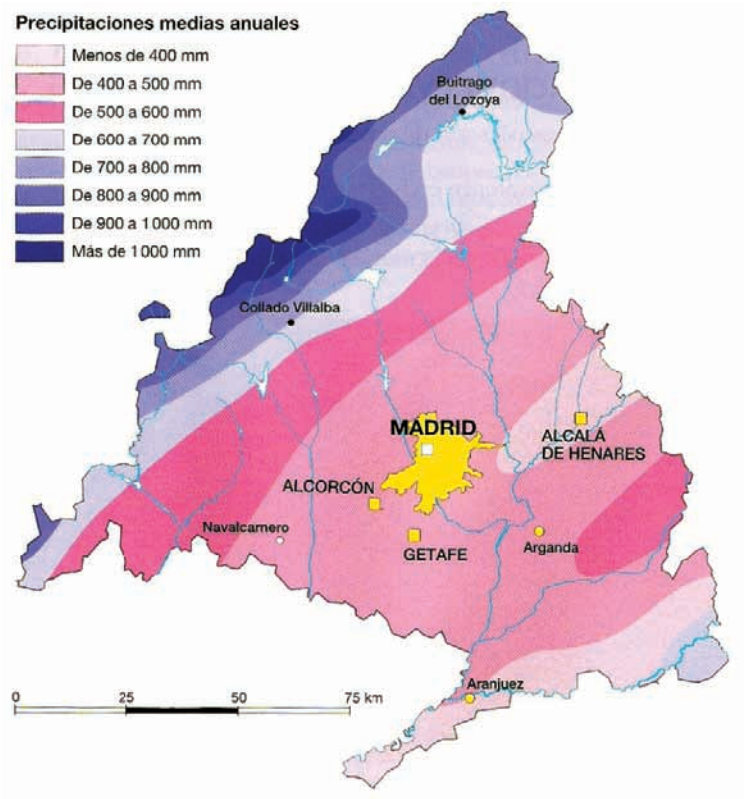


Figura 3. Mapa de precipitaciones medias de la Comunidad de Madrid, año 2004. Fuente: AEMET

Pero, **¿por qué la pluviometría de un riego puede ser un factor limitante a la hora de mantener la eficiencia de un riego?**

Un **riego eficiente**, debe garantizar la mayor uniformidad posible, y evitar gastos innecesarios de agua por posibles escorrentías, drenajes, infiltración profunda o simplemente, detener el riego cuando el agua que se está aportando ya no es disponible por las plantas por diversos motivos.

Ejemplo: Imaginemos un suelo con una velocidad de infiltración muy baja, pero en el que la pluviometría de riego es alta. El aporte de agua será superior a la capacidad del suelo de ir absorbiendo el agua, y puede ocurrir que con tiempos de riego elevados, el exceso de agua, se perderá por escorrentía o dejará el suelo encharcado, perdiendo agua y produciendo además problemas de pudrición, fal-

ta de oxígeno en las raíces o problemas fúngicos, llegando a provocar la muerte de las especies vegetales.

Otro **ejemplo**, podríamos imaginar un suelo muy arenoso, con una velocidad de infiltración alta y baja capacidad de retención de agua. En este caso, la misma alta pluviometría que en el caso anterior, generaría pérdidas de agua por percolación o drenaje profundo, al no poder retener el suelo tanta cantidad de agua.

De todos éstos puntos, relacionados con la gestión, hablaremos con más detalle en el capítulo de programación y gestión del riego, ya que el ahorro en el uso del agua y la eficiencia energética tienen una parte importante en la manera de gestionar el agua. Deberá considerarse el punto de marchitez y la capacidad de campo, las velocidades de infiltración y la capacidad de retención del suelo, para ajustar los tiempos de riego y de funcionamiento máximo a las condiciones óptimas.

1.5. Sistemas de aplicación del agua de riego

El objetivo de un sistema de riego es **garantizar el aporte hídrico a las especies plantadas**, tanto arbóreas como arbustivas o cespitosas. Para ello existen diferentes sistemas de riego, pudiéndose combinar unos u otros en función de diversos factores que se analizarán más adelante. La elección de uno u otro sistema, determinará la eficiencia del riego y por lo tanto, su eficiencia energética.

En la presente guía, se expondrán los diferentes sistemas de riego generalmente empleados en jardinería y campos de golf, en relación a su eficiencia energética.

En algunos casos esta eficiencia se conseguirá de **modo directo**, como puede ser empleando emisores que trabajen a baja presión, lo que implica menos energía necesaria en el bombeo, o de **modo indirecto**, basado en la eficiencia del riego, ya que ese ahorro de agua, significará un ahorro energético en cuanto a menor tiempo de funcionamiento del sistema de impulsión.

La primera diferenciación de modo general que haremos en cuanto a los sistemas de riego, será dividirlo en **riegos aéreos** o **riegos en superficie**.

Podemos ver en la Foto 1, un ejemplo de riego aéreo con aspersores en un campo de golf y riego en superficie con tubería con gotero integrado.

Foto 1. Riego aéreo y riego superficial. Fuente: Varios

Riegos aéreos

Son aquellos que aportan el agua a las plantas a través de distintos emisores de riego, que de una manera u otra distribuyen el agua emulando el aporte de agua por lluvia. Son los generalmente denominados cañones, aspersores o difusores. En la Foto 2 podemos ver diferentes sistemas de riego aéreo.

Foto 2. Sistema de riego aéreo. Cañones, aspersores, difusores. Fuente: Varios

Riegos en superficie

Son aquellos en los que el aporte de agua se realiza directamente en el propio suelo, bien a través de elementos puntuales que aportan el

agua en una determinada zona que nosotros queramos, que es el denominado gotero, a través de tuberías con goteros integrados o a través tuberías porosas que aportan agua a lo largo de toda la tubería, denominada cinta de exudación. En la Foto 3 podemos ver diferentes sistemas de riego superficial.

Foto 3. Sistema de riego superficiales. Goteros, tubería con gotero integrado, cinta de exudación. Fuente: Varios

Tanto en riego aéreo como en superficie, existen infinidad de fabricantes con diferentes modelos y múltiples prestaciones, pero sea cual sea el sistema elegido, siempre los parámetros de **eficiencia y uniformidad** de un riego serán aquellos que nos **garanticen cubrir las necesidades de la planta con el mínimo gasto posible.** Y para ello, analizaremos primeramente factores que influyen en esta eficiencia, buscando luego el sistema riego que en función de las características particulares que pueda tener la instalación, aproveche mejor el uso de agua.

2. SISTEMAS AÉREOS DE RIEGO

2.1. Riego por aspersión

La aspersión es el sistema de riego generalmente empleado para el riego de especies cespitosas, que necesitan un aporte homogéneo de agua y uniformidad en la distribución, para garantizar las propiedades tanto deportivas como ornamentales que debe tener.

A grandes rasgos, un **aspersor** es un elemento mecánico que transforma el agua que le llega a través de una tubería, en una simulación de lluvia artificial. Para conseguirlo, diremos de modo simple, que se realiza de dos maneras.

Aspersores de impacto

En este tipo de aspersores, **el impacto del agua sobre una pieza móvil** produce un desplazamiento del chorro de agua a lo largo de un recorrido predeterminado, y la dispersión del agua se produce por efecto del propio choque. Dentro de este tipo de aspersores se encuentran los **cañones** de riego, que con el fundamento de un aspersor de impacto, mueven grandes caudales a grandes distancias, con elevada presión de funcionamiento.

Aspersores de turbina

En estos aspersores, el agua que entra en el aspersor, a la vez que **choca contra un elemento físico, la tobera**, que es la que define los alcances, caudales e inclinación del chorro. Y además, **hidráulicamente mueve una turbina**, que va proporcionando un giro del aspersor, abarcando así toda la superficie de riego.

Podemos ver en la Foto 4 diferentes modelos y de aspersores de impacto, cañones y aspersores de turbina.

Foto 4. Aspersores de impacto y aspersores de turbina

Dentro de cada uno de estos tipos de aspersores, existe una **amplísima gama en función de los sus caudales, pluviometrías, alcances**. Para conseguir el riego más uniforme y eficiente posible, el mercado ofrece una amplia variedad de diferentes aspersores, en función de las necesidades particulares.

Pero de modo general, las diferenciaciones son:

— Por los distintos **alcances** que se pueden conseguir, entre 5 y 30 m.

— Por el **caudal** que aportan, entre 0,1 y 15 m^3/h.

— Por su **presión** de trabajo entre 2 y 7 bar.

— Por las **pluviometrías** de riego que aplica, variables entre 10 y 30 mm/h.

Podemos ver aquí en la Figura 4 diferentes alcances, presiones y caudales de la serie de aspersores de un fabricante.

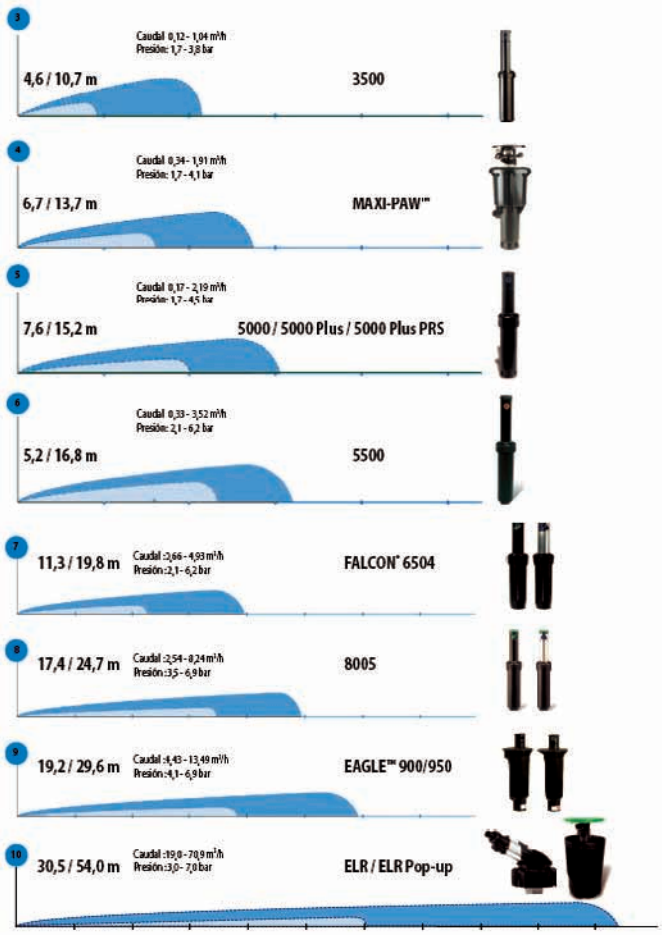


Figura 4. Alcances, caudales y presiones de una serie de aspersores. Fuente: Rainbirdaspersores. Fuente: Rainbird

Recordemos que la **eficiencia energética** de un sistema de riego la tendríamos de forma **directa en sistemas que trabajen a baja presión**, y de forma **indirecta en la eficiencia del riego** en cuanto a uniformidad, distribución, y aporte homogéneo.

En cuanto a la **eficiencia del riego**, existen diferentes estudios realizados tanto por universidades, organismos públicos, empresas privadas, fabricantes, etc.., que consideraremos como válidos en la presente guía para establecer la eficiencia de un sistema por aspersión.

Aunque la uniformidad del riego por aspersión dependa de muchos factores, los estudios antes mencionados dan al riego por **aspersión**

una eficiencia en torno al 70 %. Esto quiere decir, que de cada 100 litros de agua que aplicamos en riego por aspersión, 30 no son aprovechados por las plantas, y puede ser por varios motivos:

— Uno es el problema de la falta de uniformidad que genera el viento en riegos aéreos, al desplazar el agua de su destino final.

— También, pueden existir mayores pérdidas por escorrentía debido a compactación del terreno, grandes pendientes, altas pluviometrías o baja velocidad de infiltración.

— No hay que olvidar tampoco, que individualmente dos aspersores con la misma configuración, no garantizan la misma pluviometría ni homogeneidad, ya que las variaciones de presión que puedan existir dentro de un sector de riego, generalmente no son amortiguadas por el aspersor, generando en algunos casos aspersores con mayor y menor pluviometría dentro de un mismo sector.

Podemos ver aquí en la Tabla 1 las variaciones de pluviometrías, caudales y alcances que pueden existir dentro de un mismo aspersor con variaciones de presión. Podemos ver como con una simple diferencia de un bar, pueden aumentar las pluviometrías hasta un 20 % más, lo que baja la uniformidad del riego y aumenta el consumo.

Tabla 1. Tablas de rendimientos de un aspersor con tres toberas diferentes.

	Presión		Radio	Caudal		Pluv. mm/h	
Tobera	Bar	kPa	m	m³/h	l/min	■	▲
1,5	2,0	200	9,1	0,29	4,8	7	8
	2,5	250	9,4	0,32	5,4	7	8
	3,0	300	9,8	0,35	5,9	7	9
	3,5	**350**	**9,8**	**0,38**	**6,4**	**8**	**9**
	4,0	400	9,8	0,41	6,8	9	10
	4,5	450	9,4	0,43	7,2	10	11
2,0	2,0	200	10,1	0,35	5,8	7	8
	2,5	250	10,1	0,39	6,5	8	9
	3,0	300	10,4	0,43	7,2	8	9
	3,5	**350**	**10,4**	**0,47**	**7,8**	**9**	**10**
	4,0	400	10,4	0,50	8,3	9	11
	4,5	450	10,4	0,53	8,8	10	11
2,5	2,0	200	10,4	0,43	7,1	8	9
	2,5	250	10,7	0,48	8,0	8	10
	3,0	300	10,7	0,54	8,9	9	11
	3,5	**350**	**10,7**	**0,58**	**9,7**	**10**	**12**
	4,0	400	10,7	0,62	10,4	11	13
	4,5	450	10,7	0,66	11,1	12	13

Fuente: Hunter

Todos estos factores hay que tenerlos en cuenta a la hora de diseñar y proyectar un sistema de riego por aspersión, considerando no sólo la instalación del riego sino el manejo futuro en cuanto al mantenimiento y gestión del riego.

En cuanto a la **eficiencia energética directa**, ligada también a la **presión de trabajo** y siendo mayor el gasto energético en sistemas de alta presión que en sistemas de baja presión, los sistemas de aspersión, para su correcto funcionamiento, necesitan una presión de trabajo mínima, que puede oscilar desde los 2 bar, en aspersores muy pequeños o de uso residencial, hasta 7 bar en cañones de riego utilizados en campos deportivos. La diferencia de trabajar a 7 bar o a 2 bar, significaría directamente multiplicar el consumo energético por tres, como ya hemos visto.

2.2. Riego por difusión

Un **difusor**, es un elemento mecánico que transforma el agua que viene canalizada a través de la tubería, en agua difuminada, que riega homogéneamente la superficie que abarca el alcance del difusor.

A diferencia del aspersor, el **difusor emite en todas las direcciones**, pudiendo regular el arco que queremos que abarque, a través de las **boquillas** del difusor. Generalmente son empleados cuando queremos regar zonas más pequeñas, ya que su alcance es menor, y permite regar de forma más homogénea estos pequeños espacios.

En la Foto 5 podemos ver diferentes modelos de difusores y boquillas.

Foto 5. Diferentes modelos de difusores y boquillas. Fuente: Hunter

Al igual que en aspersión, existen en mercado **infinidad de modelos de difusores con múltiples prestaciones**. Pero de modo general, las diferenciaciones son:

— Por el **alcance**, que generalmente oscila entre 0,5 y 5 m.

— Por el **caudal** entre 0,01 y 1 m^3/h.

— Por las **pluviometrías** variables entre 40 y 200 mm/h.

— Por las **presiones** de trabajo entre 1 y 2,5 bar de presión.

Podemos ver aquí en la Figura 5 diferentes alcances, presiones y caudales de la serie de difusores de un fabricante.

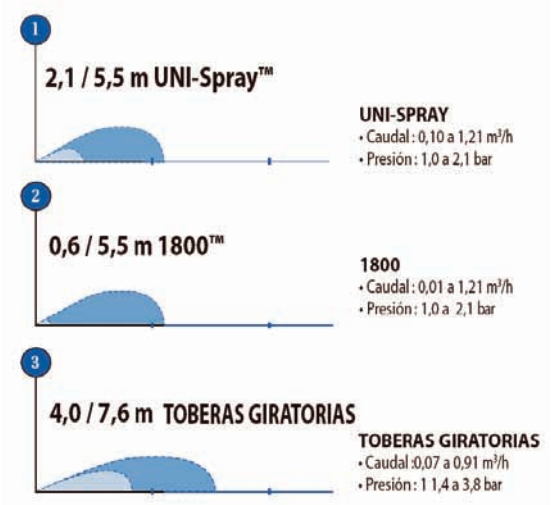


Figura 5. Alcances, caudales y presiones de una serie de difusores. Fuente: Rainbird

Como vemos, los difusores respecto a los aspersores tienen menor alcance, menor presión de trabajo y menores caudales, pero sin embargo las pluviometrías son mucho mayores, lo que significa que durante el mismo tiempo de riego, el agua que aporta un difusor es mucho mayor que la que aporta un aspersor. Esto será muy importante a tener en cuenta en la eficiencia **de un riego**, ya que al aportar una pluviometría tan alta, las pérdidas por escorrentía o infiltración profunda pueden ser muy altas, si no se revisan correctamente los tiempos de riego.

Recordemos que la eficiencia energética de un sistema de riego la tendríamos de forma directa en sistemas que trabajen a baja presión, y de forma indirecta en la eficiencia del riego en cuanto a uniformidad, distribución, y aporte homogéneo.

En cuanto a la **eficiencia del riego**, en numerosos estudios realizados al igual que en la aspersión, se dota al riego por difusión con una **eficiencia entre el 75 y el 80 %,** ligeramente más eficiente que la aspersión. Los motivos de la pérdida de eficiencia pueden ser similares a los de la aspersión:

— En el caso del viento, el efecto será menor en un difusor, debido a que al tener menor alcance, la probabilidad de que la gota de agua no llegue a donde tiene que llegar, es menor.

— Hay que tener muy en cuenta, que al aportar una muy alta pluviometría de riego, el agua perdida por infiltración o por escorrentía, puede ser muy alta, si no gestionamos correctamente el riego. Entendamos que un minuto más, puede significar 1 litro más de agua por metro cuadrado, lo que debe tenerse muy en cuenta a la hora de programar un riego.

— Al igual que en los aspersores, las diferencias de presión que puedan existir entre uno y otro difusor dentro de un mismo sector, provoca diferencias de pluviometría de riego, lo que puede suponer igualmente pérdidas de eficiencia y uniformidad en el riego.

Vemos aquí en la Tabla 2, las tablas de rendimientos de un difusor, en el que se observan tanto las altas pluviometrías de riego como las grandes diferencias en función de la presión, llegando a ser de hasta casi el 200 %.

Tabla 2. Tablas de rendimientos de un difusor con tres boquillas diferentes.

Arco	Presión Bar	Presión kPa	Radio m	Caudal m^3/h	Caudal l/min	Pluv. mm/h ■	Pluv. mm/h ▲
45°	1,0	100	1,7	0,02	0,37	62	72
	1,5	150	2,1	0,03	0,47	51	59
	2,0	200	2,4	0,03	0,55	46	53
	2,1	**210**	**2,7**	**0,03**	**0,56**	**37**	**43**
	2,5	250	2,8	0,04	0,62	38	44
90°	1,0	100	1,7	0,04	0,75	62	72
	1,5	150	2,1	0,06	0,93	51	59
	2,0	200	2,4	0,07	1,09	46	53
	2,1	**210**	**2,7**	**0,07**	**1,12**	**37**	**43**
	2,5	250	2,8	0,07	1,24	38	44
120°	1,0	100	1,7	0,06	1,00	62	72
	1,5	150	2,1	0,07	1,24	51	59
	2,0	200	2,4	0,09	1,46	46	53
	2,1	**210**	**2,7**	**0,09**	**1,50**	**37**	**43**
	2,5	250	2,8	0,10	1,65	38	44

Fuente: Hunter

En cuanto a la **eficiencia energética directa**, ligada también a la **presión de trabajo**, podemos decir claramente que los sistemas de riego por difusión, son energéticamente más eficientes, porque trabajan bien generalmente entre 1 y 2,5 bar de presión, lo que, a nivel de una instalación de bombeo, respecto a una aspersión, significa 2 bar menos de presión en el sistema.

2.3. Nuevas tecnologías en riegos aéreos

Como hemos visto, los riegos aéreos tienen tres hándicap importantes en cuanto a su eficiencia energética.

— El primero es la menor eficiencia del riego respecto a la uniformidad y distribución del agua.

— El segundo, relacionado con el primero, tiene que ver con las altas o muy altas pluviometrías de riego, que obligan a gestionar perfectamente el agua para no tener pérdidas por escorrentía o drenaje profundo.

— El tercer punto, sería que son sistemas que necesitan una presión mínima de trabajo, bastante por encima de los sistemas de riego superficiales, como veremos más adelante.

Por ello, las nuevas tecnologías en riego por aspersión o difusión buscan una **mayor uniformidad y homogeneidad** en el reparto de agua, mejorar los **software de gestión** que nos permita regar a medida, y búsqueda de sistemas de riego homogéneos que trabajen a **menores presiones y menores pluviometrías**.

Una primera cuestión, importante a tener en cuenta en cuanto a la eficiencia de un riego por aspersión y difusión, como ya hemos visto, son las **diferencias de pluviometrías de riego que pueden existir dentro de un sector de riego**, debido a las pérdidas de carga producidas en el sector cuando está funcionando, lo que incide en los alcances, pluviometrías y caudales. Cuando se diseña un sector de riego por aspersión o difusión, la ubicación de los aspersores, generalmente se rige por el alcance que van a tener cada uno, en base a unas condiciones teóricas de presión. Pero, al llevarlo a campo, esas pequeñas pérdidas de carga, o diferencias de cota, provocará diferencias de presión entre uno y otro aspersor o difusor, variando por lo tanto el caudal, el alcance y la pluviometría. De

este modo, influiremos en la distribución del agua y por tanto su uniformidad.

Por eso, una tendencia relativamente actual es la de utilizar **aspersores o difusores con reductor de presión incorporado, o instalar uno en cada emisor de riego**. Así, garantizaremos una presión de salida fija, asegurando riegos más uniformes y homogéneos, aumentando la eficiencia del riego y por lo tanto la eficiencia energética del sistema.

Otras soluciones, pero en este caso relacionado con la **distribución del agua**, tanto para aspersión como para difusión, son los **aspersores o difusores denominados rotativos**, como podemos ver uno en la Foto 6.

Foto 6. Aspersor Giratorio. Fuente: Hunter

En un aspersor o difusor convencional, la variación de presión incide en la pluviometría como acabamos de ver. Actualmente existen emisores de riego por aspersión o difusión, en los que aún con esa diferencia de presiones, **mantiene pluviometrías bastante homogéneas**, garantizando así una mejor distribución del agua aún en diferentes condiciones de presión. Otra ventaja es que además presentan más **bajas pluviometrías de riego** que los sistemas convencionales, lo cual es un beneficio al aumentar la capacidad de infiltración del agua en el suelo, disminuyendo las pérdidas por escorrentía y aumentando la eficiencia de la instalación.

Podemos ver aquí en la Tabla 3 los rendimientos de las diferentes boquillas de un difusor rotativo, observando cómo con diferentes presiones de trabajo, las pluviometrías son prácticamente homogéneas.

Tabla 3. Tablas de rendimientos de aspersor giratorio.

Datos de rendimiento de MP Rotator

			MP1000 Radio: de 2,5 a 4,5 m. Arco ajustable y círculo completo. Código de color: granate, azul claro o aceituna					MP2000 Radio: de 4,0 a 6,4 m. Arco ajustable y círculo completo. Código de color: negro, verde o rojo					MP3000 Radio: de 6,7 a 9,1 m. Arco ajustable y círculo completo. Código de color: azul, amarillo o gris				
Arco	Presión Bares	kPa	Color	Radio m	Caudal LPH	Caudal LPM	Pluv. mm/h ■	Pluv. mm/h ▲	Color	Radio m	Caudal LPH	Caudal LPM	Pluv. mm/h ■	Pluv. mm/h ▲	Color	Radio m	Caudal LPH	Caudal LPM	Pluv. mm/h ■	Pluv. mm/h ▲
90°	1,75	175	Granate = de 90° a 210°	---	---	---	---	---	Negro = de 90° a 210°	5,2	71	1,18	11	12	Azul = de 90° a 210°	7,6	158	2,63	11	13
	2,00	200		3,7	36	0,61	11	12		5,5	74	1,23	10	11		8,2	166	2,77	10	11
	2,25	225		3,8	38	0,63	10	12		5,6	80	1,33	10	12		8,4	175	2,92	10	12
	2,50	250		4,0	41	0,68	10	12		5,8	86	1,43	10	12		8,5	185	3,08	10	12
	2,75	275		4,1	42	0,70	10	11		6,1	91	1,52	10	11		9,1	195	3,25	9	11
	3,00	300		4,3	44	0,73	10	11		6,4	94	1,57	9	11		9,1	203	3,38	10	11
	3,25	325		4,3	45	0,75	10	11		6,6	97	1,62	9	10		9,1	212	3,53	10	12
	3,50	350		4,4	47	0,78	10	11		6,7	101	1,68	9	10		9,1	220	3,67	11	12
	3,75	375		4,6	49	0,81	9	11		6,7	106	1,77	9	11		9,1	228	3,80	11	13
180°	1,75	175		---	---	---	---	---		4,9	133	2,22	11	12		7,6	329	5,48	11	13
	2,00	200		3,7	72	1,20	11	12		5,2	141	2,35	11	13		8,2	353	5,88	10	12
	2,25	225		3,8	76	1,27	10	12		5,3	150	2,50	11	13		8,4	373	6,22	11	12
	2,50	250		4,0	81	1,35	10	12		5,5	160	2,67	11	12		8,5	393	6,55	11	12
	2,75	275		4,1	84	1,40	10	11		5,8	168	2,80	10	12		9,1	413	6,88	10	11
	3,00	300		4,3	88	1,46	10	11		6,1	174	2,90	10	11		9,1	431	7,18	10	12
	3,25	325		4,3	91	1,51	10	11		6,2	182	3,03	9	11		9,1	449	7,48	11	12
	3,50	350		4,4	94	1,56	10	11		6,4	189	3,15	9	10		9,1	466	7,77	11	13
	3,75	375		4,6	97	1,62	9	11		6,4	193	3,22	9	11		9,1	481	8,02	12	13
210°	1,75	175		---	---	---	---	---		4,9	155	2,58	11	12		7,6	384	6,40	11	13
	2,00	200		3,7	85	1,41	11	13		5,2	165	2,75	11	13		8,2	411	6,85	10	12
	2,25	225		3,8	89	1,48	10	12		5,3	175	2,92	11	13		8,4	436	7,27	11	12
	2,50	250		4,0	95	1,58	10	12		5,5	185	3,08	10	12		8,5	459	7,65	11	12
	2,75	275		4,1	98	1,63	10	11		5,8	195	3,25	10	12		9,1	481	8,02	10	11
	3,00	300		4,3	102	1,71	10	11		6,1	205	3,42	10	11		9,1	502	8,37	10	12
	3,25	325		4,3	106	1,76	10	11		6,2	214	3,57	9	11		9,1	523	8,72	11	12
	3,50	350		4,4	109	1,82	10	11		6,4	222	3,70	9	10		9,1	542	9,03	11	13
	3,75	375		4,6	113	1,89	9	11		6,4	228	3,80	10	11		9,1	562	9,37	12	13
270°	1,75	175		---	---	---	---	---		4,9	199	3,32	11	12		7,6	501	8,35	12	13
	2,00	200		3,7	108	1,80	11	13		5,2	212	3,53	11	13		8,2	530	8,83	10	12
	2,25	225		3,8	114	1,90	10	12		5,3	225	3,75	11	13		8,4	560	9,33	11	12
	2,50	250		4,0	123	2,05	10	12		5,5	238	3,97	10	12		8,5	589	9,82	11	12
	2,75	275		4,1	126	2,10	10	11		5,8	249	4,15	10	12		9,1	619	10,32	10	11
	3,00	300		4,3	132	2,20	10	11		6,1	261	4,35	10	11		9,1	646	10,77	10	12
	3,25	325		4,3	135	2,25	10	11		6,2	272	4,53	9	11		9,1	673	11,22	11	12
	3,50	350		4,4	141	2,35	10	11		6,4	282	4,70	9	10		9,1	701	11,68	11	13
	3,75	375		4,6	147	2,45	9	11		6,4	293	4,88	9	11		9,1	727	12,12	12	13
360°	1,75	175		---	---	---	---	---		4,9	265	4,42	11	12		7,6	659	10,98	11	13
	2,00	200		3,5	144	2,40	12	14		5,2	283	4,72	11	13		8,2	703	11,72	10	12
	2,25	225		3,8	153	2,55	11	13		5,3	300	5,00	11	13		8,4	745	12,42	11	12
	2,50	250		4,0	161	2,69	10	12		5,5	317	5,28	10	12		8,5	786	13,10	11	12
	2,75	275		4,1	169	2,81	10	12		5,8	333	5,55	10	12		9,1	825	13,75	10	11
	3,00	300		4,3	177	2,94	10	11		6,1	348	5,80	10	11		9,1	862	14,37	10	12
	3,25	325		4,3	183	3,05	10	11		6,2	362	6,03	9	11		9,1	897	14,95	11	12
	3,50	350		4,4	190	3,17	10	11		6,4	375	6,25	9	10		9,1	931	15,52	11	13
	3,75	375		4,5	195	3,25	10	11		6,4	384	6,40	9	10		9,1	964	16,07	12	13

Fuente: Hunter

3. SISTEMAS SUPERFICIALES DE RIEGO

3.1. El riego por goteo

El paso de riego aéreo a riego superficial, supone un salto importante en cuanto al modo de aportar el agua de riego. El riego vamos a realizarlo sobre el propio terreno gota a gota, **no garantizando un aporte uniforme en superficie** como en el riego aéreo, sino sólo en determinados puntos. Es aquí, donde las **características físico-químicas-estructurales de un suelo en relación al agua**, como ya hemos visto, **garantizarán un aporte homogéneo y mejorará la distribución del agua** en toda la superficie plantada.

En el riego por goteo, el riego se realiza a través de los denominados goteros. Un **gotero** es un elemento mecánico, que transforma el agua que le viene a través de la tubería de riego en una gota de agua, que de modo continuo, va cayendo durante todo el ciclo de riego.

Como podemos ver en la Figura 6, el gotero se puede conectar directamente sobre la tubería de alimentación de riego, bien directamente o a través de un micro tubo, y se fija al suelo a través de una estaca. Dependerá del **caudal de cada gotero**, el volumen de agua que aportamos en nuestro riego.

Figura 6. Conexión del gotero a la tubería de alimentación.
Fuente: Irridelco

Una de las primeras diferenciaciones de los goteros, es por el **caudal** que aportan, generalmente expresado en **litros por hora (l/h)**. Vemos

aquí en la Tabla 4 un conjunto de goteros, así como las características técnicas que facilitan los fabricantes, en la que vemos caudal y el rango de presiones de trabajo.

Tabla 4. Goteros y características técnicas.

CAUDAL NOMINAL (l/h)	RANGO DE PRESIÓN DE TRABAJO (bar)	DIMENSIONES DE PASOS DE AGUA ANCHO - PROFUNDIDAD - LONGITUD (mm x mm x mm)	ÁREA DE FILTRACIÓN (mm²)	CONSTANTE K	EXPONENTE* X	PRESIÓN DE CIERRE (bar)
0.5	0.7 - 4.0	0.54 x 0.60 x 40	1.8	0.5	0	0.12
1.2	0.7 - 4.0	0.67 x 0.77 x 35	2.0	1.2	0	0.12
2.0	0.7 - 4.0	1.03 x 0.75 x 35	2.0	2.0	0	0.12
3.0	0.7 - 4.0	1.03 x 1.08 x 35	2.0	3.0	0	0.12
4.0	0.7 - 4.0	1.32 x 0.95 x 35	2.0	4.0	0	0.12
8.0	0.7 - 4.0	1.60 x 1.05 x 35	2.0	8.0	0	0.12
12.0	0.7 - 4.0	1.60 x 1.06 x 17.5	2.0	12.0	0	0.12

Fuente: Regaber

Si comparamos las características técnicas de un gotero, con la de un aspersor o difusor, **el dato que nos aporta un gotero no es el de la pluviometría del emisor, sino el del caudal del emisor**. Pero, para poder conocer nuestra **pluviometría de riego en superficie**, es decir, los litros por metro cuadrado y hora, deberemos conocer es el **número de goteros que existen por m²**, para así, multiplicando por el caudal de cada gotero, obtendremos la pluviometría del sector, dato que necesitaremos conocer para la gestión del riego.

Siguiendo con las características técnicas de un gotero, cada gotero emitirá un caudal diferente en función de la presión, aumentando el mismo conforme aumente la presión. Es el denominado **gotero turbulento.** Por eso, y al igual que ocurre en los riegos aéreos, las pérdidas de carga existentes en una tubería que lleva conectados muchos goteros, harían que los goteros más alejados o más altos, emitan menos agua que el resto, obligando a regar más tiempo toda la instalación,

para cubrir las deficiencias de algunas zonas, bajando la eficiencia de nuestro riego.

Pero desde hace ya muchos años, y para evitar todos los problemas derivados de las diferencias de caudal de cada gotero en función de la presión, se diseñaron goteros que garantiza el mismo caudal, dentro de un amplio rango de presiones. Son los denominados **goteros autocompensantes**. Este tipo de gotero es el que generalmente se viene empleando en instalaciones de riego, para garantizar la uniformidad del agua aportada por cada gotero.

Podemos ver aquí en el Gráfico 4, una gráfica comparativa de la variación del caudal con la presión entre un **gotero turbulento**, y un **gotero autocompensante**.

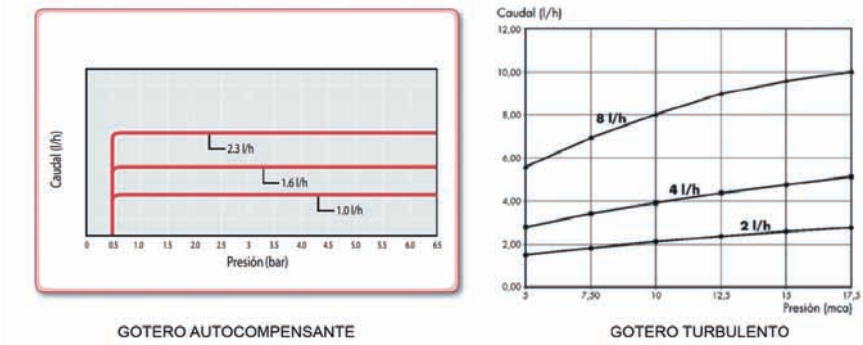


Gráfico 4. Comparativa gotero autocompensante gotero turbulento. Fuente: Regaber

Actualmente, y para la mayoría de las instalaciones, no se instalan ya los goteros pinchados cuando vamos a regar una superficie arbustiva o de pradera, sino que se instala tubería que lleva introducido ya el gotero. Es la denominada **tubería con gotero integrado**. Igualmente, este gotero puede ser **turbulento** o **autocompensante**, más ventajoso este último y el utilizado principalmente, por motivos evidentes de uniformidad y eficiencia.

Podemos ver en la Figura 7, diferentes imágenes de tubería con gotero integrado. El color violeta de la tubería es distintivo del riego con agua regenerada.

Figura 7. Tubería con gotero integrado. Fuente: Regaber

Sin entrar a definir la multitud de diferentes sistemas de fabricantes, modelos y tecnologías aplicadas para conseguir la autocompensación, de modo general la información técnica que recibimos de un fabricante hace referencia a los siguientes parámetros.

— Un primer dato es la **separación entre goteros**, es decir, la distancia que existe entre dos goteros consecutivos dentro de la tubería. Las medidas estándar suelen ser de 33, 50 y 100 cm, pudiéndose cambiar esa distancia a medida de las necesidades particulares si así se requiriese.

— Otro dato que deben aportar los fabricantes, es el **caudal de cada uno de los goteros**, siendo los generalmente utilizados los de 1,6 l/h, 2,3 l/h, 3,5 l/h y 4 l/h, aunque existen goteros de mayor caudal e incluso de **menor caudal**, siendo estos últimos las **nuevas**

tendencias en riego por goteo ya que su baja pluviometría y bajo caudal con autocompensación, permiten una mejor distribución horizontal del agua, mejorando enormemente la uniformidad en la aplicación del riego. Veremos en el Anejo 4 de riego por goteo, las ventajas en cuanto a la distribución del agua de los goteros de bajo caudal.

Podemos ver en la Figura 8, la enorme diferencia de distribución entre dos riegos aplicando el mismo tiempo de modo continuado, siendo un caso con gotero de 2.3 l/h, a la izquierda de la figura, y en el segundo caso con gotero de 0,6 l/h.

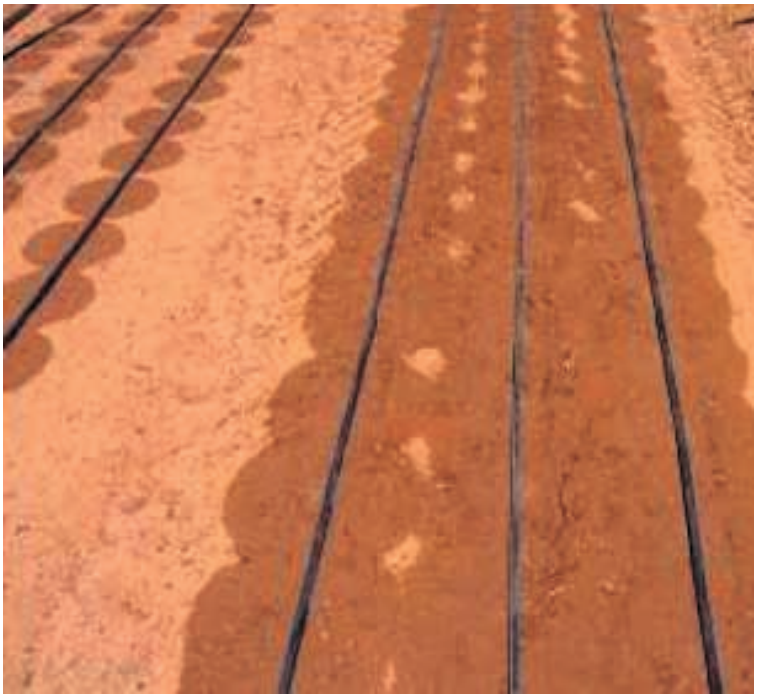


Figura 8. Diferencia de la distribución del agua con gotero de 2,3 l/h y goteo de 0,6 l/h. Fuente: Regaber

Volviendo a las características técnicas de los fabricantes, vemos aquí en la Tabla 5, características de dos modelos de tubería con gotero integrado con distinto caudal. También los fabricantes suelen recomendar la longitud máxima que puede tener la tubería alimentando desde un único punto, para garantizar la autocompensación en toda la tubería, en función de la presión a la entrada.

Tabla 5. Tubería con gotero integrado.
Longitudes máximas con gotero de 2,3 l/h.

Caudal (l/h)	Rango presión trabajo (bar)	Dimensiones paso de agua ancho-profundidad-largo (mm)	Área filtración (mm²)	Constante K	Exponente X
1.6	0.5 - 4.0	1.26 x 0.70 x 40	130	1.6	0
2.3	0.5 - 4.0	1.26 x 1.00 x 40	130	2.3	0

		Presión de entrada (m.c.a.)	Distancia entre goteros (m)		
			0,33	0,50	1
UNIBIOLINE 16	16010	15	86	123	216
		20	98	141	249
		30	117	168	297
		35	124	178	315
	16012	15	72	113	200
		20	83	130	230
		30	98	155	275
		35	105	165	293

Fuente: Regaber

La tubería sobre la que va insertado el gotero, **generalmente es tubería de Polietileno**, **de 16 mm de diámetro exterior y 1 mm de espesor**, y se suele suministrar en rollos de 100 o 400 m.

Al igual que en riegos aéreos, existen numerosos estudios que dotan al riego por goteo de una **eficiencia cercana al 90 %**, al no haber pérdidas de agua por efecto del viento y disminuir las pérdidas por escorrentía e infiltración profunda, ya que aportamos el agua gota a gota.

Pero, las **nuevas tendencias** para garantizar un aporte de agua a las plantas, y mejorar la eficiencia del riego, es la de enterrar la tubería a poca profundidad, entre 5 y 15 cm, que es el denominado **riego por goteo enterrado o subirrigación**. De este modo, evitaremos las pérdidas por evaporación directas que se producen en el aporte de agua a través de riego aéreo o superficial. La **eficiencia del goteo enterrado se sitúa en torno al 95 %**, y es el sistema actualmente de riego más eficiente en el uso del agua, aunque conlleva una relativa mayor inversión económica en la instalación para garantizar su funcionamiento, aunque su amortización económica en términos de ahorro se sitúa en torno a los dos años máximo.

En cuanto a la **eficiencia energética** de los sistemas de riego por goteo, podemos decir también que son **sistemas muy eficientes**, tanto de un modo directo como indirecto.

Directamente, al trabajar con **presiones mínimas desde 0,5 bar**, en comparación a las presiones mínimas de difusores de 2 bar, o aspersores de 4 bar.

Indirectamente, al ser sistemas de riego muy **eficientes en cuanto al aprovechamiento del agua**, necesitaremos menores tiempos de riego para cubrir las necesidades de las plantas, reduciendo el consumo energético de la instalación, al tener que trabajar el sistema de bombeo menos tiempo.

3.2. El riego por exudación

Aunque por las características técnicas de este tipo de riego, no se emplea generalmente para el riego de parques y jardines, y menos para campos de golf, cabe destacar la alta eficiencia energética directa de estos sistemas, ya que trabajan a muy baja presión.

El riego por exudación se basa en un **tubo de riego poroso o cinta exudante**, que debido a su forma tubular sin costuras y su **micro membranas**, el agua "exuda" a través de la propia tubería en toda su superficie. Podemos ver aquí, en la Figura 9, tubería de exudación.

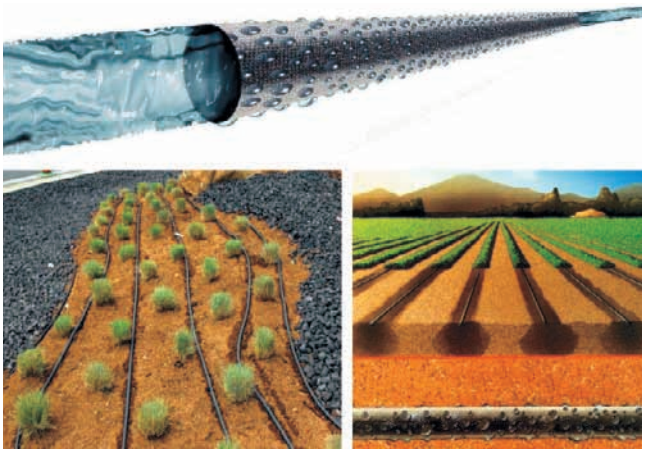


Figura 9. Tubería de exudación. Fuente: Porec

La diferencia de la cinta de exudación con la tubería con gotero in-

La diferencia de la cinta de exudación con la tubería con gotero integrado, es que el reparto no es puntual, sino **a lo largo de toda la tubería**, creando un riego similar al riego por surcos agrícola.

A diferencia con otros sistemas de riego, en el que conocemos el caudal de cada emisor de riego de modo individual (aspersor, difusor, gotero), los sistemas de riego por exudación aportan este dato en **litros por hora y metro lineal**. La tubería porosa se puede conectar directamente a la tubería de alimentación del sector, dependiendo entonces el caudal que aporta de la presión a la entrada y del diámetro de la tubería, al igual que en una conducción cerrada.

Pero para tener más control de este caudal, en la tubería de alimentación del sector, se puede conectar también un gotero de alto caudal, generalmente superiores a 8 l/h, conectando a ese gotero la cinta de exudación. De este modo, el caudal del gotero se repartirá a lo largo de la tubería. Cuanto más largo, menos caudal por metro lineal y viceversa.

Así, y utilizando goteros para conocer el caudal al principio de la línea, las curvas características de la tubería de exudación, son las que aparecen reflejadas en el Gráfico 5.

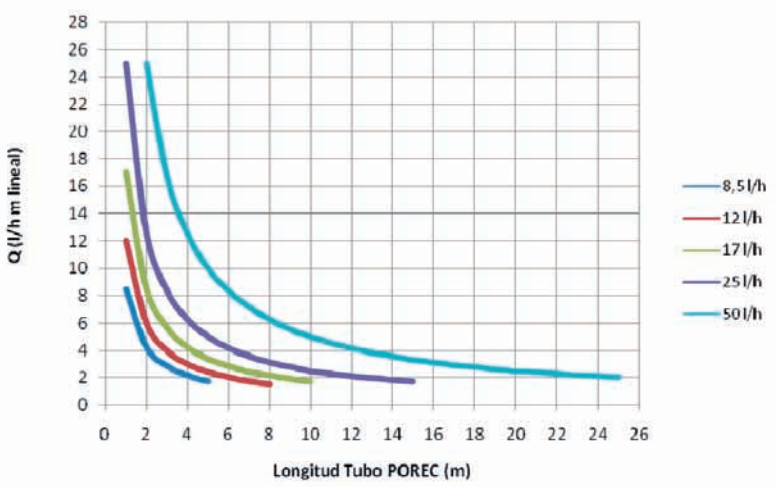


Gráfico 5. Relación caudal y longitud en cinta de exudación alimentada por gotero. Fuente: Porec

Como vemos de la gráfica, para el mismo caudal en cabeza de línea, conforme vayamos teniendo más longitud de tubo poroso, el caudal por metro lineal disminuye proporcionalmente como es lógico, ya que si la distancia es el doble, el caudal por metro lineal será la mitad.

En la cinta de exudación, la **uniformidad y eficiencia** en el riego se basa mucho en el **diseño y ejecución** de la instalación, ya que la única manera de garantizar pluviometrías uniformes, es decir, mm/h, es garantizar que todas las líneas instaladas tengan las mismas longitudes y están alimentadas por el mismo gotero. Cualquier gotero de distinto caudal, o diferentes longitudes de tubo, ocasionarían pluviometrías diferentes, como podemos ver aquí un ejemplo en la Figura 10 de empleo de tubo poroso enterrado, en el que por error, se instalaron dos caudales diferentes para la misma longitud de línea. El resultado es una mayor pluviometría en una zona que en otra, pérdida de eficiencia y de uniformidad.

Figura 10. Distribución de riego no uniforme por empleo de goteros de distinto caudal. Fuente: Audit Irrigation

En cuanto a la eficiencia del sistema de riego de la cinta de exudación, existen numerosos estudios, con contradicciones unos de otros, dotando a algunos sistemas con una eficiencia del 70 % hasta otros con eficiencia del 95 %. Entendemos que ni uno ni otro son tomados como datos definitivos, ya que por el sistema de riego utilizado la uniformidad dependerá muchísimo de la ejecución, del sistema elegido, de la gestión del riego, de las condiciones de presión y de la orografía del terreno, variables que en este sistema, pueden afectar muchísimo a la eficiencia.

Por estos especiales motivos, se recomienda el empleo de éstos sistemas para sectores de riego no excesivamente grandes, y con un diseño que nos permita crear mallas regulares, con longitudes iguales en todos los ramales, como podemos ver en la Figura 11, en el que aparecen dos tipos de instalaciones. La simple, alimentada desde un punto, la doble desde dos.

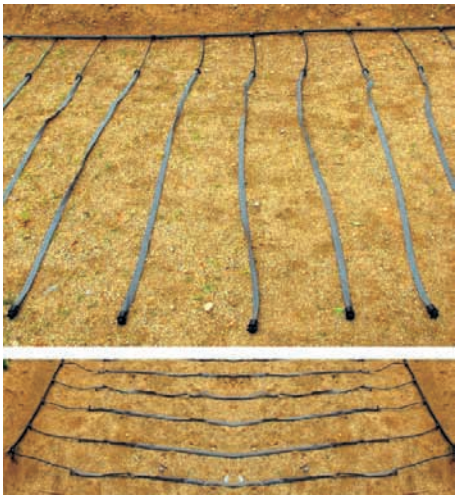
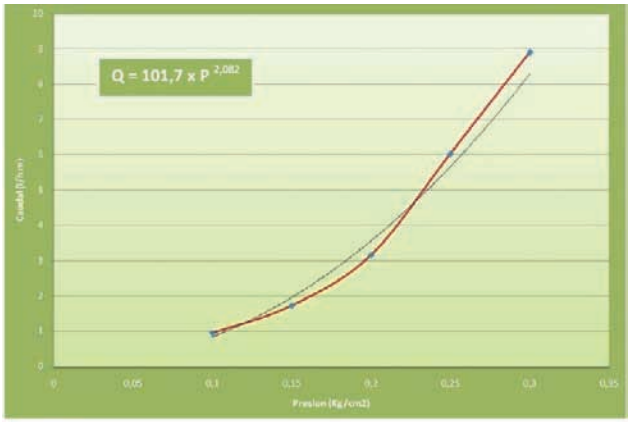


Figura 11. Montaje simple o doble de tubo poroso. Fuente: Porec

Pero en cuanto a la eficiencia energética directa debida a la **presión de trabajo**, los sistemas de riego por exudación son los **más eficientes** en el mercado cuando no funcionan conectados a un gotero, ya que **comienzan a trabajar desde 0,1 bar**. Es decir, son recomendables cuando es necesario regar una instalación en la que por circunstancias, no puedan utilizarse sistemas de impulsión alternativos. En este caso, y **regando por gravedad**, bastaría un depósito con un mínimo de 1 metro de altura de agua, para garantizar la presión de funcionamiento. Pero este sistema, como ya hemos visto, tampoco garantiza un caudal uniforme, como podemos ver en el Gráfico 6, que corresponde a la curva característica del caudal de la tubería en función de la presión en que, como vemos, pequeñísimas variaciones de presión varían enormemente el caudal.



Presión (Kg/cm²)	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40
Caudal (l/h m lineal)	0,84	1,96	3,57	5,67	8,29	15,09

Gráfico 6. Curva característica de tubo poros con conexión directa. Fuente: Porec

Por eso, generalmente se realizan las instalaciones con goteros en la cabeza de la línea como ya hemos visto. Al hacer esto, mejoraremos la distribución del riego, pero estaremos obligados a trabajar con unas condiciones de presión mínimas para que el gotero funcione correctamente, situándonos en este caso en el nivel de eficiencia energética de los sistemas de riego por goteo.

Podemos concluir que el riego por exudación, energéticamente nos permite **regar casi sin presión o por gravedad**, pero por el contrario, la **eficiencia y uniformidad del riego será muy baja.** En el caso en el que se instalen goteros en la cabecera del tubo poroso, controlaremos mejor los caudales y la pluviometría, pero deberá realizarse una perfecta instalación, para asegurar dicha uniformidad y garantizar la presión mínima del gotero.

4. COMPARATIVO ENERGÉTICO SISTEMAS DE RIEGO

En este último apartado de los sistemas de riego, realizaremos una comparativa teórica en base a datos de partida reales, del ahorro de agua y energético que supondría instalar el 100 % de la superficie de una zona verde con diferentes sistemas de riego: Aspersión, Difusión, Goteo o Goteo enterrado, considerando su eficiencia en el uso de agua y la presión mínima de trabajo para su correcto funcionamiento.

Para ello, estableceremos las siguientes condiciones de partida.

Superficie total zonas regadas: **50 ha**

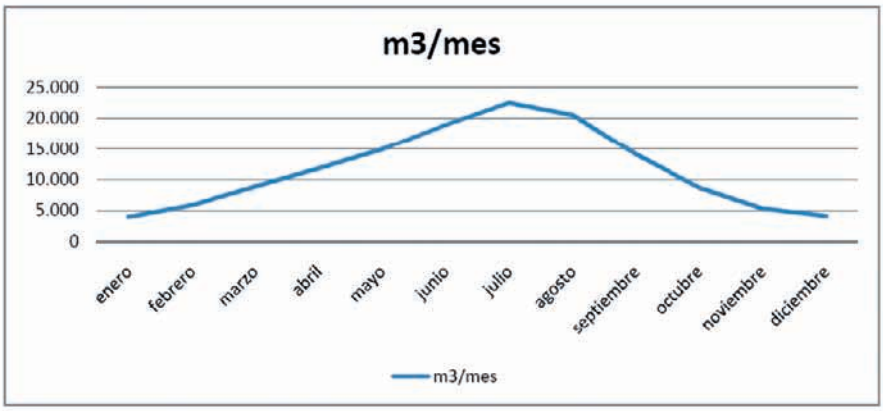
Tiempos de riego máximos, **10 horas**.

Coste de la energía, extraído de un valor medio de distintas compañías eléctricas. 0,132 €/kWh en cuanto al término variable de la energía, y 0,13 €/kW día, en el término de potencia fija contratada.

Consumo mínimo necesario en el establecimiento del jardín, sin considerar las eficiencias, en base a estudio de necesidades hídricas y valores de evapotranspiración: **280.000 m³/año**, como vemos en la siguiente tabla y gráfico:

	ET0	m3/mes	m3/día	Horas día	Horas mes
enero	1,33	4.048	133	1,48	45
febrero	1,95	5.916	195	2,16	66
marzo	2,92	8.874	292	3,24	99
abril	3,89	11.832	389	4,32	131
mayo	4,92	14.946	491	5,46	166
junio	6,23	18.955	623	6,92	211
julio	7,40	22.497	740	8,22	250
agosto	6,76	20.550	676	7,51	228
septiembre	4,63	14.090	463	5,15	157
octubre	2,87	8.718	287	3,18	97
noviembre	1,77	5.371	177	1,96	60
diciembre	1,38	4.204	138	1,54	47
MEDIA	3,84		384	4,26	130
TOTAL		140.000			1.556

Caudal óptimo del bombeo: 90 m3/h



Para dimensionar los **sistemas de impulsión**, se ha seleccionado la **bomba más eficiente** dentro de su rango de trabajo, con **variadores de frecuencia** en todas las bombas, y caudal óptimo de trabajo de **180 m³/h**.

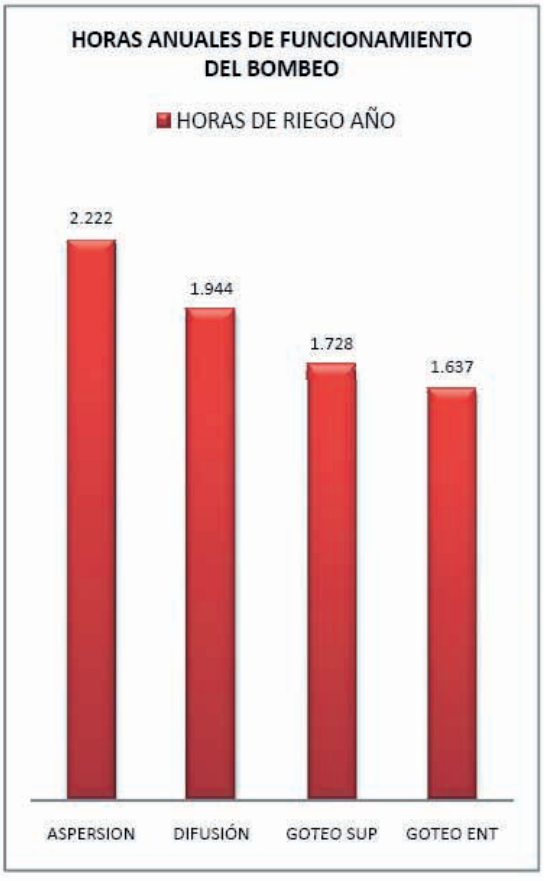
RESULTADOS

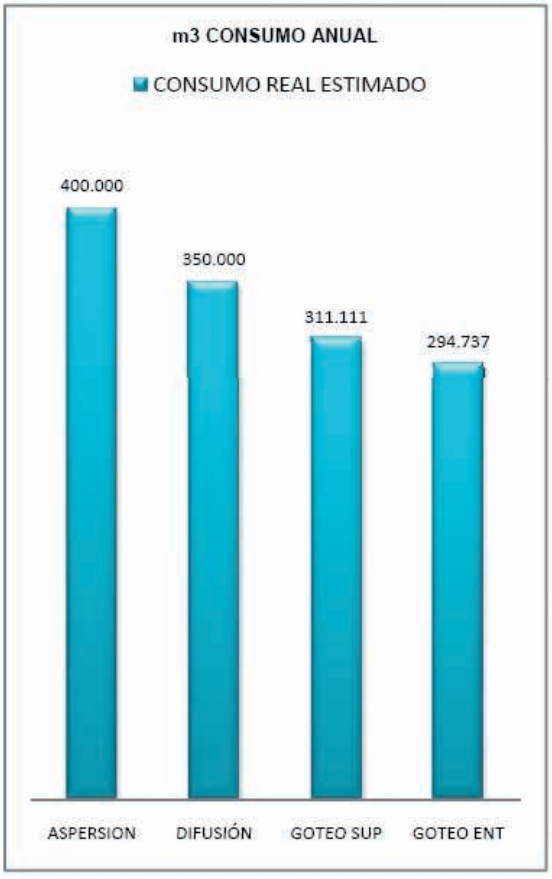
COMPARATIVO 50 ha DE RIEGO DE ZONAS VERDES CON DIFERENTES SISTEMAS DE RIEGO

		ASPERSION	DIFUSIÓN	GOTEO SUP	GOTEO ENT
%	EFICIENCIA SISTEMA DE RIEGO	70%	80%	90%	95%
m3	CONSUMO TEÓRICO ESTIMADO	280.000	280.000	280.000	280.000
m3	CONSUMO REAL ESTIMADO	400.000	350.000	311.111	294.737
bar	PRESIÓN IMPULSIÓN	7	5	3	3
m3/h	CAUDAL TRABAJO ÓPTIMO	180,00	180,00	180,00	180,00
kW	POTENCIA BOMBEO NECESARIA	66,00	44,00	30,00	30,00
kW	POTENCIA NOMINAL DE TRABAJO	45,40	37,20	22,80	22,80
h	HORAS DE RIEGO AÑO	2.222	1.944	1.728	1.637
kWh	kWh AÑO	100.889	72.333	39.407	37.333
€	COSTE VARIABLE ENERGÍA	13.317 €	9.548 €	5.202 €	4.928 €
€	COSTE FIJO ENERGÍA	3.132 €	2.088 €	1.424 €	1.424 €
€	COSTE ENERGÉTICO ANUAL	16.449 €	11.636 €	6.625 €	6.352 €

PORCENTAJE DE GASTO Y AHORRO EN BASE AL MENOS EFICIENTE (ASPERSIÓN, 100%)

		ASPERSION	DIFUSIÓN	GOTEO SUP	GOTEO ENT
%	GASTO EN AGUA	100%	88%	78%	74%
%	GASTO EN ENERGÍA	100%	71%	40%	39%
€	AHORRO EN ENERGÍA	0 €	4.813 €	9.824 €	10.098 €





Lo que se extrae del comparativo energético de sistemas de riego es que los **sistemas energéticamente más eficientes son aquellos que me garanticen un mayor ahorro de agua y una menor presión de trabajo del sistema**, lo que influye directamente en las horas de funcionamiento del bombeo y en la potencia contratada y nominal de trabajo.

5 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN.

1. INTRODUCCIÓN

Un factor muy importante de la eficiencia, tanto en la energía como en el uso del agua, tiene que ver con el diseño y dimensionamiento de las redes de distribución del riego, en definitiva, las tuberías. Y hay que tener muy en cuenta esto, ya que generalmente las redes de riego una vez instaladas, no se rehacen aunque estén mal dimensionadas, sino que nos dedicamos a poner "parches" en las instalaciones, para minimizar el impacto de riegos no eficientes.

Podemos ver en la Foto 1, la instalación de la red primaria de riego en un Parque Temático.

Foto 1. Instalación de red primaria de riego en parque temático.
Fuente: Marcos Pérez

¿Dónde influye el dimensionamiento de una red primaria en la Energía? En muchos aspectos, pero para ello, primeramente y de modo muy genérico, haremos una descripción de la relación entre agua y energía en los sistemas de riego.

2. RELACIÓN ENTRE AGUA Y ENERGÍA

En todos los sistemas para riego tanto de parques y jardines y campos de golf, el mayor gasto energético consiste en la impulsión del agua, para llegar a diferentes puntos, garantizando un caudal y una presión mínima. Cualquier caída de estos valores mínimos de caudal o presión en el sistema, se manifiesta en una baja eficiencia en el riego, que para suplirla, el sistema regará durante más tiempo, lo que conlleva un gasto en agua mayor y en energía.

Partiendo de esto, y entendiendo que en los sistemas de impulsión, mayor presión de trabajo significa un mayor gasto energético, deberemos evitar aguas abajo pérdidas energéticas en las conducciones. Es fácil entender que cuanta menos presión perdamos en el movimiento del agua, menos presión extra, deberá aportar el sistema de bombeo para cubrir ese déficit. Pero, **¿cómo ganamos energía y como la perdemos?**

Ganamos Energía

— Debido al desnivel del terreno. Si el agua baja de cota, gana energía, denominada energía potencial.

— En sistemas cerrados y anillados, al disminuir las pérdidas de presión generales del sistema.

Perdemos Energía

— Cuando el agua tiene que subir de cota. Es la pérdida de carga por energía potencial.

— Debido al rozamiento del fluido con la tubería, denominada pérdida de carga por rozamiento.

— En sistemas no anillados, ya que no se reparten las pérdidas de presión.

— Debido a bolsas de aire en las tuberías, que disminuyen la sección útil de la tubería, y por lo tanto el paso de agua.

— Debido a averías no controladas, que despresurizan el sistema y hacen perder agua.

Como vemos, en el ciclo del agua desde el bombeo hasta los emisores de riego, el **agua en la mayoría de los casos va perdiendo energía**, debido a caídas principalmente de presión por rozamiento, a no ser que vayamos bajando de cota.

Por este motivo, es muy importante a la hora de diseñar y dimensionar un riego, tener claro cuáles van a ser las condiciones de nuestro riego. Esto requiere un estudio exhaustivo previo de nuestro sistema, pero lo primero que tenemos que saber es:

— Qué vamos a regar: arbustos, praderas, alcorques,…

— De que caudal y presión disponemos en cabecera.

— Cuál va a ser nuestro tiempo de riego estimado y las horas posibles para regar.

— Cuál es la calidad del agua en origen y cuál es el equipo de filtración.

— Cuál es la presión mínima de trabajo de mis emisores de riego.

Y en base a todos estos datos, empezaremos a dimensionar nuestro sistema. Buscando siempre la minimización de las pérdidas de energía de nuestra instalación, que describiremos más adelante como intervienen, en este caso relacionado con las conducciones.

3. FÓRMULAS BÁSICAS

Ya hemos visto que existen pérdidas de energía en las conducciones, que se pueden calcular numéricamente, o en el caso de grandes proyectos, realizar simulaciones informáticas. Pero básicamente, las **pérdidas de energía producidas por rozamiento en la tubería**, tienen que ver con dos variables, intrínsecamente relacionadas.

La pérdida de carga dentro de una tubería tiene que ver directamente con la velocidad del agua en ese tramo al cuadrado, según la siguiente fórmula simplificada:

$$Hf = K \times u^2$$

U: velocidad del fluido

K: Valor dependiente de múltiples variables

Sin entrar en detalles de las otras múltiples variables que intervienen en el valor K, nos centraremos en que la **pérdida de energía varía con el cuadrado de la velocidad**. Para el valor K, existen muchas fórmulas y criterios para el cálculo de la pérdida de carga longitudinal de una

tubería (Blasius, Hazen-Williams, Scobey,...), debiendo seleccionar para nuestra instalación la que más se aproxime a nuestras condiciones de diseño, materiales, etc.

Podemos acceder a estas fórmulas en la siguiente página web *http://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema7.PDF* de la Cátedra de Ingeniería rural de la EUITA Ciudad Real.

¿De qué depende la velocidad de una tubería?

La velocidad en una tubería depende del caudal y de la sección de la tubería, relacionándose según la siguiente fórmula.

$$Q = U \times W$$

Q: caudal en m^3/s

U: Velocidad en m/s

W: Sección en m^2 de la tubería

Vemos de este modo cómo para una tubería de sección fija, es **el caudal el que nos va a determinar la velocidad de la tubería.** Caudal que será el demandado por nuestra instalación en el ciclo de riego que le corresponda según la programación. De ahí la necesidad de estudiar de antemano cuáles son los caudales que van a existir en cada instante de riego, previendo inicialmente la programación final del sistema. Así, podremos optimizar tanto los materiales como los diámetros a emplear en la instalación, para minimizar éstas pérdidas de carga.

4. MATERIALES EMPLEADOS EN LAS CONDUCCIONES

Las redes primarias, secundarias y terciarias para el riego de las zonas objeto de la presente guía, están **generalmente fabricadas en polietileno** (PE), debido a sus buenas prestaciones, durabilidad en el tiempo y facilidad de manejo y montaje de la instalación.

Podríamos establecer multitud de clasificaciones del polietileno, pero lo que puede afectar a la eficiencia del sistema, tiene que ver con el diámetro de la tubería a instalar y con el material empleado. Hasta ahora, únicamente hemos hablado de diámetros, velocidades y pérdidas de carga en una conducción estándar, pero dentro del polietileno, existen muchos y diferentes tipos, aunque analizaremos en este caso, los diferentes tipos de **PE en función de su densidad**.

Lo que antiguamente se denominaba **alta, media o baja densidad**, actualmente su nomenclatura es **PE 100, PE 80 o PE 40.** Podemos ver en la Tabla 1, la tabla general de tubos de PE de un fabricante, según las normas UNE-EN 12.201 y UNE-EN 13.244, en PE 80 y PE 100.

Tabla 1. Gama de tubos de PE.

SDR	33		26		21		17		13,6		11		9		7,4		
S	16		12,5		10		8		6,3		5		4		3,2		
Tipo	Presión Nominal (bar)																
PE 40			2.5		3,2		4		5		6		8		10		
PE 80	4		5		6		8		10		12,5		16		20		
PE 100	5		6		8		10		12,5		16		20		25		
DN De	Espesor Nominal (mm)																Paso nominal
	e	Di	e	Di	e	Di	e	Di	e	Di	e	Di	e	Di	e	Di	
20											2.0	16.0	2.3	15.4	3.0	14.0	*15*
25									2.0	21.0	2.3	20.4	3.0	19.0	3.5	18.0	*20*
32							2.0	28.0	2.4	27.2	3.0	26.0	3.6	24.8	4.4	23.2	*25*
40					2.0	36.0	2.4	35.2	3.0	34.0	3.7	32.6	4.5	31.0	5.5	29.0	*32*
50			2.0	46.0	2.4	45.2	3.0	44.0	3.7	42.6	4.6	40.8	5.6	38.4	6.9	36.2	*40*
63			2.5	58.0	3.0	57.0	3.8	55.4	4.7	53.6	5.8	51.4	7.1	48.8	8.6	45.8	*50*
75			2.9	69.2	3.6	67.8	4.5	66.0	5.6	63.8	6.8	61.4	8.4	58.2	10.3	54.4	*65*
90			3.5	83.0	4.3	81.4	5.4	79.2	6.7	76.6	8.2	73.6	10.1	69.8	12.3	65.4	*80*
110			4.2	101.8	5.3	99.4	6.6	96.8	8.1	93.8	10.0	90.0	12.3	85.4	15.1	79.8	*100*
125			4.8	115.4	6.0	113.0	7.4	110.2	9.2	106.6	11.4	102.2	14.0	97.0	17.1	90.8	*100*
140			5.4	129.2	6.7	126.6	8.3	123.4	10.3	119.4	12.7	114.6	15.7	108.6	19.2	101.6	*125*
160			6.2	147.6	7.7	144.6	9.5	141.0	11.8	136.4	14.6	130.8	17.9	124.2	21.9	116.2	*150*
180			6.9	166.2	8.6	162.8	10.7	158.6	13.3	153.4	16.4	147.2	20.1	139.8	24.6	130.8	*150*
200			7.7	184.6	9.6	180.8	11.9	176.2	14.7	170.6	18.2	163.6	22.4	155.2	27.4	145.2	*200*
225			8.6	207.8	10.8	203.4	13.4	198.2	16.6	191.8	20.5	184.0	25.2	174.6	30.8	163.4	*200*
250			9.6	230.8	11.9	226.2	14.8	220.4	18.4	213.2	22.7	204.6	27.9	194.2	34.2	181.6	*250*
280			10.7	258.6	13.4	253.2	16.6	246.8	20.6	238.8	25.4	229.2	31.3	217.4	38.3	203.4	*250*
315	9.7	295.6	12.1	290.8	15.0	285.0	18.7	277.6	23.2	268.6	28.6	257.8	35.2	244.6	43.1	228.8	*300*
355	10.9	333.2	13.6	327.8	16.9	321.2	21.1	312.8	26.1	302.8	32.2	290.6	39.7	275.6	48.5	258.0	*350*
400	12.3	375.4	15.3	369.4	19.1	361.8	23.7	352.6	29.4	341.2	36.3	327.4	44.7	310.6	54.7	290.6	*400*
450	13.8	422.4	17.2	415.6	21.5	407.0	26.7	396.6	33.1	383.8	40.9	368.2	50.3	349.4	61.5	327.0	*450*
500	15.3	469.4	19.1	461.8	23.9	452.2	29.7	440.6	36.8	426.4	45.4	409.2	55.8	388.4			*500*
560	17.2	525.6	21.4	517.2	26.7	506.6	33.2	493.6	41.2	477.6	50.8	458.4					*550*
630	19.3	591.4	24.1	581.8	30.0	570.0	37.4	555.2	46.3	537.4	57.2	515.6					*600*
710	21.8	666.4	27.2	655.6	33.9	642.2	42.1	625.8	52.2	605.6							*700*
800	24.5	751.0	30.6	738.8	38.1	723.8	47.4	705.2	58.8	682.4							*800*
900	27.6	844.8	34.4	831.2	42.9	814.2	53.3	793.4									*900*
1000	30.6	938.8	38.2	923.6	47.7	904.6	59.3	881.4									*1000*
1200	36.7	1126.6	45.9	1108.2	57.2	1085.6											*1200*
1400	42.9	1314.2	53.5	1293.0													*1400*
1600	49.0	1502.0	61.2	1477.6													*1600*

e= espesor - De = Diámetro exterior - Di = Diámetro interior

Fuente: Manual técnico PE Plomylen.

La diferencia reside en la **resistencia del material**. Por ejemplo, como vemos en la tabla, un PE 100 necesita menos espesor de tubería para soportar la misma presión de trabajo que un PE 40. De este modo, y para el mismo diámetro exterior, tendremos más sección útil en un PE 100 que en un PE 40, lo que asegura en el primer caso una velocidad más lenta que en el segundo.

La **sección útil,** es la sección real por la que circula el agua, cuyo diámetro es el interior del tubo, muy diferente en algunos casos al diámetro exterior.

Podemos ver en la Figura 1, un conjunto de tuberías con los tres tipos de polietileno, distinguiéndose claramente los diferentes espesores de los tubos según su densidad.

Figura 1. Diferentes tubos de PE con diferente densidad. Fuente: Audit Irrigation

Podría parecer insignificante, pero dependiendo de las velocidades de cálculo máximas admitidas, podemos encontrarnos instalaciones no eficientes debido simplemente al empleo de polietileno de baja densidad, que al ser más económico, se instala muchas veces atendiendo sólo al diámetro exterior. Por eso, debe de ser una labor del

proyectista especificar claramente en las partidas presupuestarias y en los anejos de cálculo y pliego de condiciones, las características técnicas del PE que se vaya a utilizar.

No es necesario siempre diseñar con alta densidad, pero si es muy importante **tener en cuenta la sección útil real y no basarnos** sólo en los diámetros exteriores.

Ejemplo. Vemos ahora en la Tabla 2 las diferentes pérdidas de energía producidas en 100 metros lineales de tubería, con el mismo diámetro exterior de 50 mm, por las que circula el mismo caudal, y empleando diferentes densidades de polietileno. Como vemos, para un mismo caudal y presión de trabajo, empleando una tubería de PE 100, tendríamos la mitad de pérdidas de carga que utilizando PE 40.

Tabla 2. Pérdidas de energía en función del tipo de PE.
Fuente: Audit Irrigation

	PE40	PE80	PE100
PN	PN6	PN6	PN6
D ext (mm)	50	50	50
D int (mm)	40,8	45,2	46
e (mm)	4,6	2,4	2
SDR	11	21	26
Q (m3/h)	8	8	8
u (m/sg)	1,70	1,39	1,34
Longitud (m)	100	100	100
Hf (m.c.a)	7,23	4,44	4,08
% Hf	100%	61%	56%

5. VELOCIDADES DE CÁLCULO

Como ya hemos visto, cuanto más alta sea la velocidad de cálculo admisible, menores diámetros de tubería podemos utilizar, lo que abarata económicamente la instalación en cuanto a ejecución. Pero, también tenemos que tener en cuenta, que **cuanto más rápido vaya el agua, más pérdidas de carga generará**, con lo que es posible que la eficiencia del riego pueda disminuir en casos extremos. Pero lo que sí es una realidad, es que **el sistema de impulsión, necesitará trabajar**

a mayor régimen para compensar las pérdidas de carga en las redes primarias y mantener la presión constante. Y en muchos casos, este ahorro económico en la instalación se puede ver igualado en muy pocos años por el mayor gasto energético, siendo a partir de ahí un gasto que arrastraremos durante toda la vida útil de la instalación.

Por eso, hay que buscar un **equilibrio entre la optimización económica en la fase de ejecución, y la optimización energética durante la fase de explotación**.

Las pérdidas energéticas por rozamiento (no hablando en ningún caso las producidas por diferencia de cota, que no se pueden evitar), no deberían ser en ningún caso superiores al 25 % de la presión de trabajo del sistema, siendo ideal valores en torno al 10 – 15 %.

Para ello, se recomienda que **las velocidades de cálculo máximas admisibles para cualquier tubería de la red terciaria o de alimentación de sectores, no supere el 1,5 m/s**.

De ahí, yendo aguas arriba en las **redes primarias y secundarias**, las **velocidades de cálculo de la instalación no deberían superar el 1 m/s, llegando en algún caso particular a velocidades de 0,5 m/s.**

Aunque hablamos de velocidades máximas, también es muy importante **garantizar unas velocidades mínimas de trabajo**, en este caso, pensando más en la eficiencia del sistema de riego. Si el agua se mueve muy lentamente dentro de la tubería, todos los posibles **sedimentos o restos orgánicos, no van siendo arrastrados** por el fluido, sino que van sedimentándose y adhiriéndose a las paredes de la tubería, provocando en algunos casos la disminución de la sección útil de la tubería, disminuyendo el caudal y la presión.

Vemos aquí en la Foto 2, una tubería colmatada por carbonatos y otra por la biocapa generada por el agua reciclada, y como disminuye la sección útil.

Foto 2. Tuberías colmatadas con carbonatos y biocapa.
Fuente: Desconocida

Por ello, se recomienda también en el dimensionamiento **no trabajar con velocidades inferiores a 0,3 m/s**, que sería la velocidad mínima necesaria para poder arrastrar los sólidos en suspensión. Aunque éstos problemas podrán **minimizarse con la adición de ácidos en el agua de riego**, como veremos en el capítulo de mantenimiento, no todas las instalaciones disponen de equipos de fertirrigación e inyección de ácidos, que minimizan mucho los efectos negativos de estos problemas, que pueden llegar a arrastrarse a los emisores de riego.

6. SISTEMA ANILLADOS. TRAZADO EN PLANO.

Una vez seleccionado el diámetro de la tubería, el material empleado, los caudales que soportarán y las velocidades máximas y mínimas, llegamos a la definición en plano del mejor trazado de la tubería.

El **trazado energéticamente más eficiente, es aquel que nos genere menores pérdidas de carga,** también a nivel de su trazado en plano.

Para ello, lo ideal es que todos los sistemas se encuentren **anillados o cerrados,** de modo que equilibremos las presiones por ambos lados, y de este modo, reduzcamos las pérdidas de carga a prácticamente la mitad.

Uno de los principales problemas que se plantean a la hora de realizar la instalación anillada, es el hecho de que prácticamente hay que duplicar la medición de tubería. Pero un error frecuente es el de entender que se debe cerrar con el mayor diámetro del sector de riego, lo cual no es cierto, y se puede reducir mucho el diámetro de esta tubería que cierra el circuito, sin por ello perder las ventajas de anillar el sistema.

Las tuberías de cierre de los anillos de riego, generalmente funcionan a **muy bajas velocidades**, ya que no deben ser tramos de tubería sobre los que se colocan emisores de riego, con lo cual, apenas mueven caudal, pero si funcionan como un regulador de la presión, al amortiguar las subidas o las bajadas de presión, funcionando, si lo entendiéramos de un modo más sencillo, como un sistema de vasos comunicantes, en los que lo que se equilibra es la presión.

También es muy importante, en el caso de tuberías en zonas con pendientes, intentar realizar la mayoría de los **trazados de tubería según las curvas de nivel.** Aunque teóricamente el agua gana o pierde la misma energía por diferencia de cota descendente o ascendente, el total de la pérdida será mayor que si el agua se mueve a la misma cota. Además, generaremos menos puntos de acumulación de aire, que obligan a la instalación de ventosas, como veremos en el capítulo 5. Por eso, es **recomendable seguir las curvas de nivel de nuestro terreno,** en la medida de lo posible.

7. CONCLUSIONES.

De lo visto hasta ahora, podemos entender que debemos buscar la optimización entre la diseño y la ejecución, para buscar las menores pérdidas energéticas en las redes de distribución, siempre muy ligado al material empleado, al sistema de gestión y a las diferencias de cota existentes en nuestra instalación. Para ello, y previo a la realización del proyecto de riego, tenemos que estudiar la siguiente información, para definir nuestro mejor sistema. Esto es:

— Estudio previo de caudales, tiempos y programación futura del riego.

— Estudio de la simultaneidad y caudales punta máximos de riego.

— Estudio de la topografía del terreno, y en la medida de lo posible, situar en los puntos más altos la impulsión o el almacenamiento de agua.

— Elección de tipo de PE a utilizar según las características particulares de uso.

— Calcular en base a las secciones útiles de tubería para ese material y nunca respecto al diámetro exterior.

— Establecer el cálculo con velocidades máximas admisibles de 1,5 m/s para las redes terciarias de alimentación del riego, y menores de 1 m/s para las redes primarias.

— Establecer un criterio máximo de pérdidas de carga por rozamiento en la red, no superiores al 10 % de la presión de trabajo del sistema.

— Realizaremos entonces el trazado en plano, siguiendo las curvas de nivel en los casos que nos sea posible y anillando y cerrando las redes de riego para presurizar mejor el sistema y reducir las pérdidas de carga.

8. COMPARATIVO ENERGÉTICO REDES DE DISTRIBUCIÓN.

Realizaremos ahora un comparativo energético en un sistema de riego para un jardín público de 100 ha de superficie. No consideraremos la eficiencia del riego, sino que basaremos el estudio en base a las máximas pérdidas de carga admisibles en la red primaria (10 %, 30 % ó 50 %).

El precio por metro cuadrado de la instalación de riego, se ha realizado en base a la experiencia y a datos de proyectos reales, considerando sólo las partidas presupuestarias de apertura de zanjas, suministro y colocación de tuberías, y toda la valvulería necesaria instalar en la red primaria de riego. Consideraremos también, que las mayores pérdidas de carga son generadas principalmente por sistemas mal dimensionados, tanto en materiales como en diámetros, lo que representa un ahorro económico en la ejecución, el cual se estima también en base a datos medios de proyectos reales.

Consideramos también que la vida útil de una instalación de riego viene a ser de unos cincuenta años.

Las condiciones de partida son:

- Superficie regada de zonas verdes: 100 ha, 75 % Riego por goteo, 25 % riego por difusión 30 %.
- Consumo real estimado anual primer y segundo año: 480.000 m^3; Consumo punta en verano: 2.536 m^3/día
- Coste de la energía, extraído de un valor medio de distintas compañías eléctricas. 0,132 €/kWh en cuanto al término variable de la energía, y 0,13 €/kW día, en el término de potencia fija contratada.
- Tiempo máximo de riego diario de 14 horas.

Sistema de bombeo único en la cota más baja, capaz de funcionar en las diferentes condiciones de trabajo del comparativo. Se selecciona un equipo compuesto por cuatro bombas multicelulares en paralelo, de caudal cada una de 45 m^3/h. Todas las bombas llevan variador de frecuencia, y las presiones de trabajo para ese caudal están comprendidas entre 4 y 10 bar, como vemos en el Gráfico 1 del sistema de impulsión seleccionado.

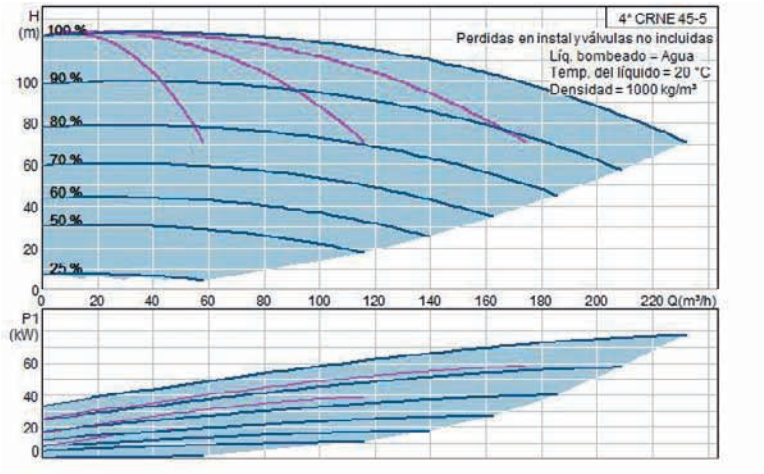


Gráfico 1. Curvas del sistema de bombeo seleccionado.
Fuente: Wincaps de Grundfos

Presión mínima de trabajo de cualquier sector, 4 bar.

Diferencia de cota entre el bombeo el punto más alto, 20 m.

Vemos aquí, en la Tabla 3, los datos recogidos de las simulaciones con las diferentes condiciones de trabajo. Vemos también en el Gráfico 2, la amortización de la instalación, que se realiza a partir del año 12, un quinto de la vida útil de una instalación de riego.

Tabla 3. Gasto energético y coste de una instalación en función de la pérdida de carga.

	MÁXIMA PÉRDIDA DE CARGA ADMISIBLE	0%	10%	30%	50%
HA	SUPERFICIE DE ESTUDIO	100	100	100	100
€/HA	COSTE EJECUCIÓN POR HA	---	5.168,27	4.873,15	4.556,00
€	COSTE DE LA EJECUCIÓN	---	516.827 €	487.315 €	455.600 €
BAR	PRESION MINIMA DE TRABAJO	4,00	4,00	4,00	4,00
M.C.A.	DIFERENCIA DE COTA	20	20	20	20
BAR	PRESIÓN TEÓRICA DE TRABAJO	6	6	6	6
BAR	PRESIÓN DE IMPULSIÓN	6,00	6,60	7,80	9,00
m3/h	CAUDAL TRABAJO ÓPTIMO	---	180,00	180,00	180,00
kW	POTENCIA BOMBEO NECESARIA	---	74,00	74,00	74,00
kW	POTENCIA NOMINAL DE TRABAJO	---	51,80	60,00	68,00
h	HORAS DE RIEGO AÑO	---	2.667	2.667	2.667
kWh	kWh AÑO	---	138.133	160.000	181.333
€	COSTE VARIABLE ENERGÍA	---	18.234 €	21.120 €	23.936 €
€	COSTE FIJO ENERGÍA	---	3.511 €	3.511 €	3.511 €
€	COSTE ENERGÉTICO ANUAL	---	21.745 €	24.631 €	27.447 €

Fuente: Audit Irrigation

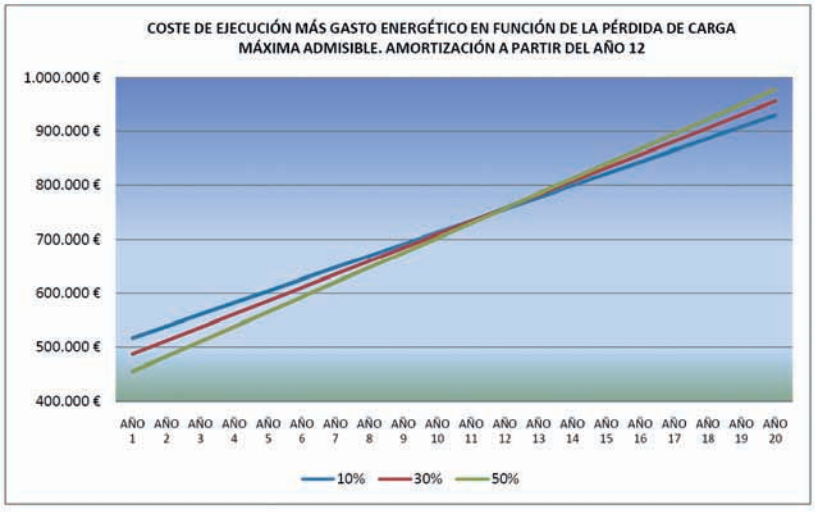


Gráfico 2. Amortización de la instalación. Fuente: Audit Irrigation

6 ELEMENTOS DE CONTROL Y SUPERVISIÓN

1. INTRODUCCIÓN

¿Que entendemos por elementos de control y supervisión? ¿Se consideran elementos que ahorran energía o ahorran agua directamente?

No, no lo hacen de un modo directo, pero su empleo en instalaciones de riego, de modo indirecto, permiten tanto el ahorro de agua como de energía. Cualquier elemento que nos permita monitorizar y supervisar la instalación, nos dará la posibilidad de actuar más rápidamente en caso de averías en la red primaria, bajas presiones en el sistema que no garantizan un riego eficiente, o cualquier otra incidencia que afecte al consumo de agua, y por lo tanto, al gasto energético.

Aunque existen infinidad de elementos de control, hablaremos en la presente guía de los generalmente se emplean para aplicaciones de riego.

2. CONTADORES Y VÁLVULAS HIDRÁULICAS

Un **contador es un elemento que se emplea para medir el consumo de agua**, y de modo indirecto, el **caudal que circula por esa tubería**. Se denominan también **caudalímetros.** Según donde se instalen, podrán medir los consumos de un sector de riego, si se instala ligado a la electroválvula del sector, o de toda una instalación, si se instala a la salida del cabezal de riego.

Existen varios sistemas de funcionamiento de los contadores, pero los generalmente utilizados son:

Contadores mecánicos o tipo Woltman, en los que las vueltas que da la hélice instalada interiormente, determina el volumen de agua que está pasando a través del contador.

Contadores electromagnéticos, en los que a través de sondas electromagnéticas, se determina el caudal que pasa por la tubería, sin existir elementos mecánicos en el paso del agua.

Los contadores electromagnéticos tienen generalmente mayor precisión que los mecánicos, en los que podría haber alteraciones en la lectura por algún elemento grueso que pueda introducirse en el contador, o simplemente por la presencia de aire.

Pero por la contra, el error en la lectura de los contadores electromagnéticos es mucho mayor que en los mecánicos, en el caso de trabajar a caudales inferiores a los recomendados.

Podemos ver aquí, en la Figura 1 éstos dos contadores.

Figura 1. Modelos de contadores. Fuente: Regaber

Los contadores, aunque su función principal es la de medir consumo, éste valor en la unidad de tiempo, **nos determinaría el caudal.** Los contadores electromagnéticos realizan la doble lectura directamente (consumo y caudal), pero, en el caso de los mecánicos, la traducción a caudal se realiza a través de un emisor de pulsos.

Un **emisor de pulsos** es un elemento que emite una señal eléctrica o pulso, cada vez que la hélice del contador haya dado un número determinado de vueltas. Para ello, podemos conectar el emisor de pulsos a la rueda del contador de 10 ,100 o 1000 litros, según necesitemos mayor o menor precisión. Vemos en la Figura 2 ,un contador con emisor de pulsos cada 100 litros.

Figura 2. Contador con emisor de pulsos cada 100 litros.
Fuente: Marcos Pérez.

Las **válvulas hidráulicas** son válvulas, que a través de la incorporación de determinados pilotos de funcionamiento hidráulico, permiten poder realizar muchas y diferentes aplicaciones en un sistema de riego, como vemos en la siguiente Tabla 1.

Tabla 3. Aplicaciones de las válvulas hidráulicas. Fuente: Audit Irrigation

Válvulas de regulación	Válvulas de protección	Valvulería de control
Reductoras de presión. Sostenedoras de presión. Sostenedoras reductoras. Limitadoras de caudal.	De alivio rápido de presión. Reductoras de presión. Válvulas de retención. Válvulas anticipadoras de onda. Válvulas de control del bombeo. Válvulas anti rotura o anti inundaciones.	Limitadoras de caudal. De llenado de depósito. De altitud. Válvulas volumétricas.

Vemos aquí, en la Figura 3, una válvula hidráulica de pistón, y un piloto reductor de presión de 3 vías, que se incorporaría a la válvula.

Figura 3. Válvula hidráulica y piloto reductor de presión de 3 vías.
Fuente: Regaber

Pero de todas las aplicaciones de las válvulas hidráulicas, y sin entrar a detallar la gran importancia que pueden tener estos elementos en una gestión eficiente del sistema de riego, nos centraremos en el empleo de **válvulas hidráulicas como electroválvulas maestras**, con la incorporación de solenoides.

Entenderemos por **válvula maestra** a aquella electroválvula hidráulica instalada en una red de riego, no pensada para la apertura automática de un sector de riego, sino para la apertura automática de un ramal, que puede alimentar a toda la instalación o a un conjunto de sectores, en función de en que parte del trazado de la red primaria se instale.

El tándem de un **contador más una válvula maestra**, es una muy buena manera de controlar la instalación en diferentes puntos, desde los cuales nos interese monitorizar y controlar la red hidráulica.

Ya tenemos claro que uno de los ahorros energéticos en una instalación de riego proviene del control y ahorro en el agua, lo que hace trabajar menos tiempo las bombas y evitar gastos innecesarios de agua.

Pensando para este caso siempre en sistemas centralizados de riego, la monitorización en tiempo real del caudal que pasa por un ra-

mal nos permitirá saber, después de haber configurado el sistema, si los valores son superiores o inferiores al calculado teóricamente, detectando así si en el sistema existe alguna anomalía en dicho ramal, actuando sobre la válvula maestra y cerrándola en caso necesario.

Ejemplo: Imaginemos un ramal, del que cuelgan 24 electroválvulas, de las que conocemos el caudal de cada uno de los 24 sectores de riego. Imaginemos que no se han abierto ninguno de los sectores de riego, pero el contador, está funcionando. Eso significa que está pasando un caudal no contemplado, lo que puede significar o bien que algún sector se ha quedado enganchado y sigue regando, o que existe algún tipo de avería en la red general. Automáticamente, la información de exceso de caudal se envía a la central de riego, que envía una orden a la válvula maestra, cerrando el ramal de riego en el que se ha producido la avería.

Como resumen podemos decir que la instalación de contadores y válvulas maestras en diferentes puntos de una instalación de riego, nos permitirían hacer actuar el sistema de modo inteligente, en función de la información que suministra el contador, y operar e intervenir de modo automático, evitando gastos innecesarios o problemas mayores derivados de la avería. Vemos aquí en el Gráfico 1 una imagen de un software de riego en tiempo real, en el que se monitorizan los gráficos de caudal de cinco contadores.

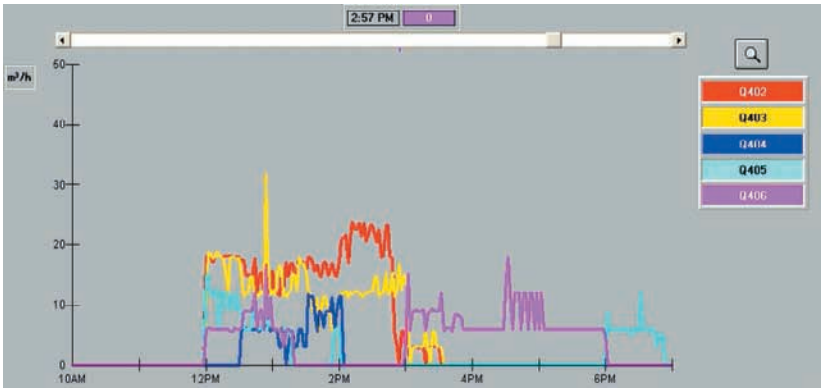


Gráfico 1. Funcionamiento de 5 contadores en programa Site Control de Rainbird. Fuente: Marcos Pérez.

3. TRASDUCTORES DE PRESIÓN

También denominados como presostatos o sensores de presión relativa, son elementos que **permiten conocer la presión de una instalación**. Esta información, al igual que en los contadores, puede recibirse en la central del riego, generalmente a través de una señal eléctrica entre 4 a 20 mA.

Existen trasductores de presión con diferentes rangos de medición, de 0 a 6 bar, de 0 a 10 bar, de 0 a 16 bar…., pero siempre el valor de 4 mA corresponderá a la mínima presión del trasductor, en este caso, 0 bar, y 20 mA corresponderá con el mayor de su rango. Vemos aquí, en la Figura 4, una fotografía de un trasductor de presión y dos imágenes de un software en tiempo real que monitoriza la señal y presión de trabajo.

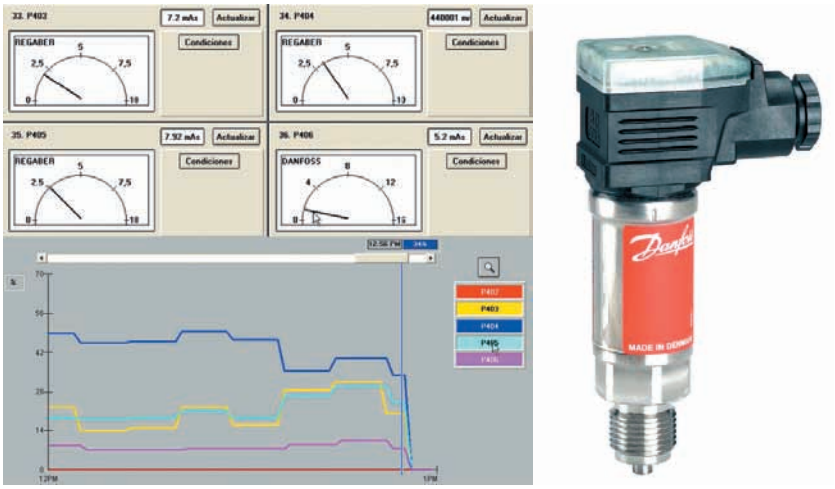


Figura 4. Trasductor de presión y software de monitorización.
Fuente: Site Control de Rainbird, Danfoss

Si nosotros instalamos un conjunto de trasductores de presión en un sistema de riego, en puntos clave desde los que nos interese monitorizar la red, podremos tener muchas ventajas:

La primera, y al igual que la vinculación del contador a una válvula maestra, se puede vincular también el trasductor de presión.

Ejemplo: Imaginemos que cuando vamos a realizar un riego, nosotros conocemos la presión mínima que debemos tener en un punto

para garantizar un riego eficiente o la presión máxima que admite nuestra instalación. La falta de eficiencia en un riego, significa zonas no regadas uniformemente, debiendo aplicar más agua para cubrir las necesidades de las zonas menos regadas. Si cada vez que se van a abrir unas determinadas zonas de riego, el sistema detecta que la presión no es la adecuada, puede realizar una pausa en el programa, reiniciándose el riego cuando las condiciones se restablezcan.

Igualmente, y en el caso de integración del sistema de riego con el sistema de bombeo, cada vez que arrancara un riego, en base a la presión de campo, el bombeo se reajustaría para garantizar la presión de funcionamiento.

Ejemplo: Imaginemos una instalación con 40 metros de diferencia de cota en contra, y la presión mínima de trabajo de cualquier electroválvula es de también 4 bar. El sistema, estaría siempre presurizado a 8 bar, para garantizar 4 bar en cualquier punto. Si a la hora de proyectar la red primaria, se ha intentando seguir las curvas de nivel, y se han instalado válvulas maestras que definen de modo general 4 ramales principales, según diferencias de cota de 10 metros, podremos ir regando secuencialmente y disminuyendo la presión de trabajo del bombeo de modo automático, conforme vamos regando a cotas más bajas. Esto supondrá un ahorro energético importante.

4. SENSORES DE HUMEDAD

Entenderemos por **sensor de humedad,** a aquellos dispositivos instalados en el propio terreno, que nos permiten medir el estado de humedad del suelo a la profundidad en la que se ha instalado la sonda.

Existen desde equipos portátiles, que nos permiten revisar el estado de humedad in situ, hasta sistemas de monitoreo continuo y transmisión de datos integrado en una central de riego, que nos permitirá regar a la demanda de humedad del terreno. Estos últimos sistemas miden la humedad a diferentes profundidades, creando así gráficas del perfil de humedad del terreno a diferentes profundidades.

Vemos aquí, en la Figura 5, un sensor de humedad de lectura manual y uno de lectura continua a distintas profundidades, con un detalle de la sonda introducida en el suelo.

Figura 5. Sensores de humedad manuales y de lectura continúa.
Fuente: Seedmech

El beneficio de la incorporación de estos elementos en un sistema de riego, son evidentes para mejorar la eficiencia del riego. Recordemos que la eficiencia es la relación entre la cantidad de agua aplicada, y la aprovechada por las plantas. La instalación de estos sensores, nos permitirá conocer el estado de humedad de nuestro terreno, asegurando el agua disponible para la planta en su zona de desarrollo del sistema radicular, como ya vimos en el capítulo de agua y suelo. Así, podremos garantizar que el suelo nunca se encuentre en el punto de marchitez, y el aporte de agua nunca supere la capacidad de campo. Además, con el empleo de sensores que miden la humedad a diferentes profundidades, podremos conocer nuestro perfil de humedad del suelo.

Ejemplo: Vemos aquí, en el Gráfico 2, un ejemplo de un riego controlado por una sonda de humedad, de un cultivo de alfalfa en Madrid, con una profundidad radicular máxima de 90 cm. El suelo es franco

arcilloso, con una humedad disponible total de 140 mm/metro y una tasa máxima de infiltración de 30 mm/día

— La línea inferior verde indica el agua disponible total.

— La línea central marrón, corresponde al punto de marchitez, situado a una profundidad de 90 cm, máxima del sistema radicular

— La línea azul superior, correspondería a la capacidad de campo.

— Las barras rojas corresponderían al nivel de humedad del terreno.

Vemos como cuando llegamos al punto de marchitez, se aplica el riego hasta la capacidad de campo, manteniendo el contenido de humedad del suelo.

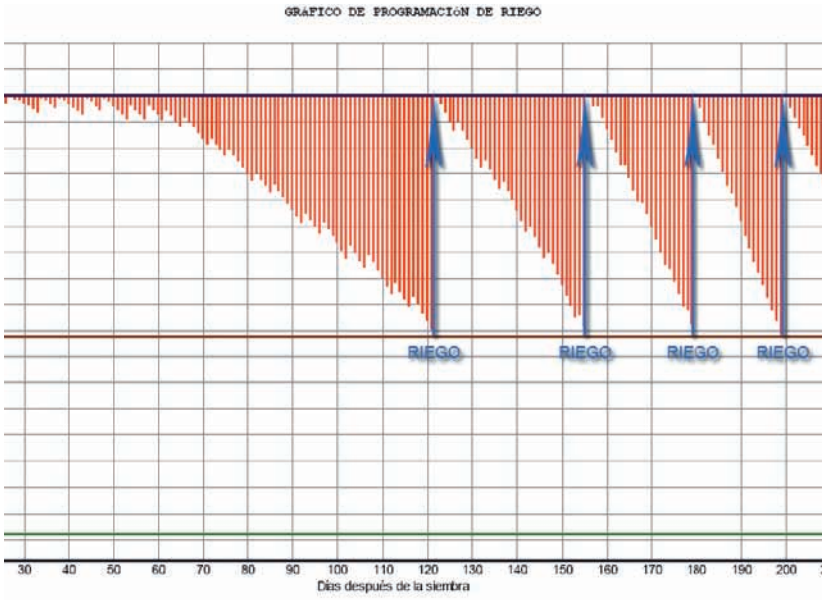


Gráfico 2. Programación de un riego basado en el contenido de humedad. Fuente: Programa Cropwat 8.0 de la FAO

5. VENTOSAS

Aunque las ventosas no se pueden catalogar como elementos de control y supervisión, su instalación en redes de riego, garantiza el perfecto funcionamiento del sistema, y por lo tanto, su eficiencia.

Las **ventosas son elementos que nos permiten controlar el aire que puede existir dentro de la red**, evitando problemas tales como vacío dentro de la tubería, bolsas de aire que limitan la sección útil o evitar problemas de cavitación entre otras cosas. Cualquiera de estos problemas afectará a la eficiencia del sistema.

Podemos dividir las ventosas en tres grupos principalmente:

- **Ventosas cinéticas**, de gran orificio y baja presión. Estas ventosas permiten la entrada y salida de grandes caudales de aire cuando estamos vaciando o llenado (respectivamente) nuestra red. Este tipo de válvulas de aire sólo funcionan cuando la tubería se encuentra en condición atmosférica, es decir, cuando el sistema no está presurizado. Cuando el agua fluye por el sistema presurizado, esta válvula permanece cerrada.

- **Ventosas automáticas**, con orificio pequeño y de alta presión. Estas válvulas de aire, también llamadas, en este caso, purgadores, permiten eliminar fuera de la red el aire atrapado que se acumula en el sistema presurizado. Una ubicación típica de estas ventosas son los picos altos de nuestra red hidráulica.

- **Ventosas trifuncionales**, que combinan una ventosa cinética y una automática en un solo conjunto, ofreciendo una protección integral a la red de agua.

Vamos aquí, en la Figura 6, imágenes de ventosas automáticas y trifuncionales.

Figura 6. Ventosas automáticas y trifuncionales. Fuente: Regaber

La **incorporación de ventosas en la red primaria de riego,** es algo obligado para garantizar el buen funcionamiento del sistema, y es muy importante su dimensionamiento y ubicación dentro de la misma para garantizar su correcta funcionalidad.

En redes primarias, casi siempre se busca expulsar el aire en el llenado de la tubería, para evitar bolsas que limiten el caudal disponible, e introducir aire en el momento de vaciado, para evitar depresiones en las tuberías que pueden llegar a producir roturas, entre otros problemas. Vemos aquí en la Figura 7, un ejemplo de la pérdida de caudal debido a la presencia de aire en las conducciones, durante la fase de llenado. En la Figura 8, vemos un ejemplo de la depresión que puede existir en el interior de una tubería durante el vaciado, si no introducimos aire a la red con ayuda de una ventosa.

Figura 7. Problemas de pérdida de caudal durante el llenado. Fuente: A.R.I.

Figura 8. Problemas de depresiones durante el vaciado. Fuente: A.R.I.

Una vez definida la mejor ubicación para la ventosa, importante tanto en puntos altos, zonas con cambio de pendiente o en finales de ramales (hay que tener en cuenta que el aire también es empujado por el agua), deberemos atender a las características técnicas que facilitan

los fabricantes para seleccionar el modelo más idóneo. Vemos aquí en el Gráfico 3, las curvas características de una serie de ventosas trifuncionales, desde 2" a 12".

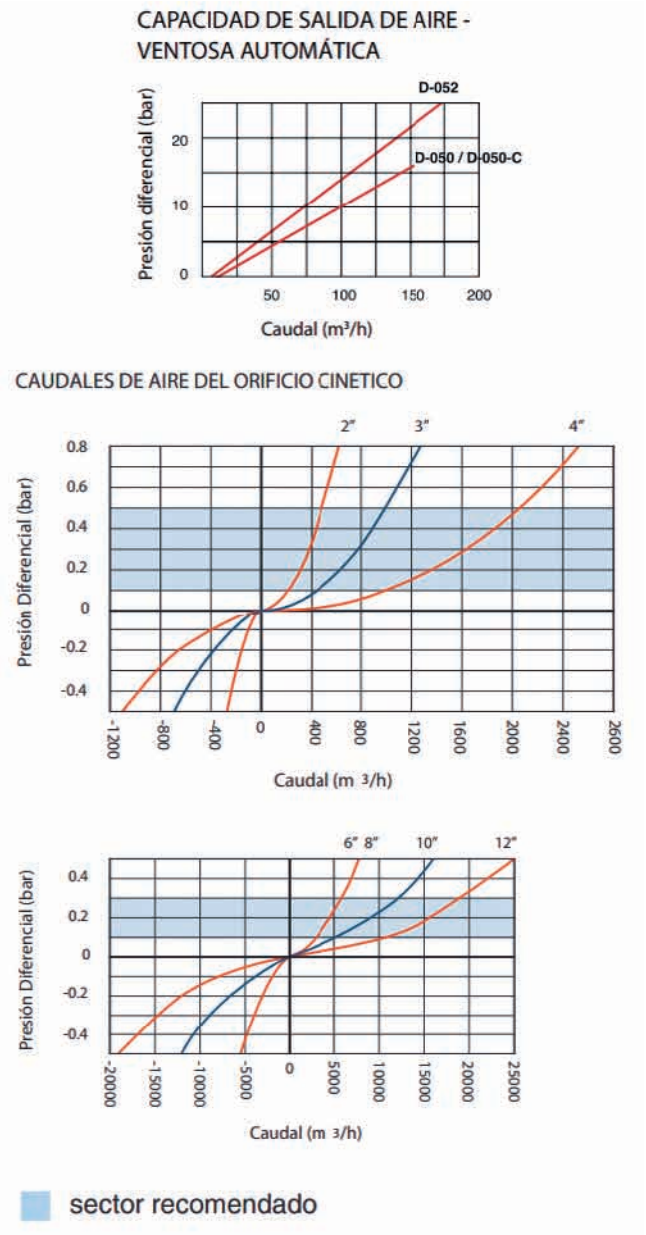


Gráfico 3. Capacidad de entrada y salida de aire: Fuente: Regaber

Pero aunque hasta ahora estemos hablando de redes primarias, también es muy importante la **incorporación de las ventosas en redes secundarias o en los propios sectores de riego**, empleando en estos últimos, ventosas más pequeñas, de ½", para garantizar la eficiencia en el riego, con mayor importancia en sistema de riego por goteo.

En general, cuando arranca un sector de riego, el aire de la instalación necesita salir, y para ello lo hace a través del emisor de riego, que comunica con atmósfera. En el caso de riegos aéreos, la salida es a través del aspersor o difusor, que tienen una salida relativamente grande. Pero en el caso del goteo, al tener un orificio de salida muy pequeño, el aire tarda mucho más tiempo en salir. La consecuencia es que mientras unas zonas están presurizadas y han comenzado a regar, otras todavía no lo están haciendo, ya que es necesario expulsar el aire. Por ello, la incorporación de un conjunto de ventosas en el sistema de goteo expulsarían todo el aire, presurizando rápidamente la instalación, comenzando todo a regar uniformemente.

Igualmente, cuando se corta el sector, se produce una depresión dentro de la tubería, lo que haría el denominado efecto succión, en la que esa depresión podría producir que la propia tierra alrededor del gotero se introdujese dentro del mismo, pudiendo llegar a obturarlo e impedir su correcto funcionamiento. Aunque las nuevas tecnologías de goteo ya instalan mecanismos antisucción en el gotero, si durante el cierre introducimos aire en la instalación con la ayuda de ventosas, evitaremos éste problema, además de conseguir una rápida despresurización del sistema, lo que garantiza que todos los goteros dejan de regar al mismo tiempo, mejorando la eficiencia del sistema.

7 SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO

1. INTRODUCCIÓN

Un sistema de riego automatizado, simplificando la definición, es aquel que permite la apertura y cierre de los sectores de riego de un modo automático, controlando los tiempos de riego, los días y la secuencia de apertura de las válvulas asociadas a un sistema de riego.

Podemos tener desde sistemas de programación individuales a nivel de válvula, pasando por sistemas de programadores que gestionan un conjunto de válvulas, hasta sistemas centralizados de riego que permiten la gestión integral del sistema de riego y la incorporación de sensores.

Es fácil entender, que a **mayor capacidad de gestión, mayor posibilidad de ahorro de agua.** Pero es muy importante también la figura del **gestor de riego**, ya que el mejor sistema centralizado del mundo puede que no sea eficiente, sin un gestor del agua que supervise, controle y actualice el riego en cada momento, en función de la multitud de variables que intervienen.

Así que, entendiendo que tanto el sistema de programación del riego, como el gestor del riego, son elementos clave para el buen uso del agua, nos centraremos en qué elementos dentro de un sistema de automatización del riego, inciden directamente en la energía.

Describiremos los sistemas de programación generalmente empleados tanto en parques, jardines y campos de golf, refiriéndonos a que sistemas garantizan o mejoran la eficiencia en el uso del agua y la energía.

2. SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN EN RELACIÓN AL TIPO DE COMUNICACIÓN

Atenderemos aquí a los diferentes sistemas de automatización en base al tipo de comunicación con el solenoide de la electroválvula. El solenoide es el elemento final al que le llega la señal de apertura de la electroválvula. Recibe una señal eléctrica generalmente a 9 V 12 ó 24 V, realizando la apertura de la electroválvula, cerrando el sector de riego cuando deja de recibir la señal eléctrica, al final del tiempo de riego establecido.

Vemos aquí, en la Figura 1, una electroválvula con el solenoide incorporado.

Figura 1. Electroválvula y solenoide. Fuente: Rainbird

Yendo de sistemas más básicos a más complejos, inicialmente tendríamos.

1. **Programación individual a nivel de válvula.** Programaremos a través de un programador individual, los parámetros de riego de dicha válvula. Existen también programadores de este tipo, que pueden programar entre 1 y 6 válvulas simultáneamente, dentro de una misma arqueta.

2. El segundo paso sería la **programación general de un conjunto de electroválvulas**, desde un único programador de campo. De este modo, ampliaremos la capacidad de gestión, al poder programar un conjunto de válvulas en lugar de una sólo.

3. Un tercer paso sería la **programación centralizada**, que puede ser por comunicación directa con las electroválvulas o indirecta, co-

municando entre medias con programadores de campo, y permitiendo la incorporación de sensores de monitorización y elementos de seguridad.

A su vez, podemos realizar otra diferenciación en referencia al **sistema de comunicación**. Existen varios sistemas de conexión de este solenoide con el programador.

1. Un primer caso es **conexión directa con cable de dos hilos**, lo que significa que se conecta cada válvula con el programador que le corresponda, a través de cable de dos hilos. La comunicación de un conjunto de válvulas con el programador será siempre una **comunicación en paralelo**.

2. El segundo caso es la **conexión indirecta del solenoide con un denominado decodificador de campo**. Cada decodificador tiene un número asociado, que se introduce en el programador y es el encargado de enviar la señal al solenoide. La comunicación de los decodificadores con el sistema de programación, se realiza a través de cable de dos hilos, existiendo la diferencia de que todos los decodificadores pueden **conectarse en serie** en el mismo cable, no aumentando mucho la medición de cable que significa una instalación en paralelo, como existe en el caso primero. Vemos en la Figura 2, decodificadores de campo para 1,2,4 ó 6 estaciones de riego.

Figura 2. Decodificadores de campo de 1 a 6 estaciones. Fuente: Rainbird

3. Sistemas más actuales, comunican directamente los solenoides de las electroválvulas con el programador por **comunicación por radio, dentro de un alcance establecido,** a través de un emisor instalado en la propia electroválvula conectada al solenoide. Éstas instalaciones **no requieren cableado,** pero si la instalación de repetidores que permitan la comunicación.

En el caso de sistemas centralizados, podremos también diferenciar varios modelos de comunicación en función del **tipo de conexión entre electro**válvulas y central o programadores y central.

1. Un primer sistema, es la de **comunicación directa a través de cable de todas las válvulas con la central de riego, denominado en este caso sistema monositio**. En el caso de que la comunicación sea además con decodificadores, el término será sistema monositio de decodificadores.

2. Por otro lado, las electroválvulas pueden conectar con unos programadores intermedios, y de ahí conectar a la central. En el caso en el que se comuniquen los programadores con la central de un modo directo a través de cable, se denominaría sistema **monositio con satélites** o programadores.

3. Otro caso puede ser que dichos programadores, comuniquen con la central bien vía telefónica, GSM o por radio, sistemas denominados **multisitio**, ya que la central de riego puede estar o no físicamente en la zona regada, y puede gestionar una o varias zonas.

La elección de uno u otro sistema, dependerá evidentemente de muchos factores particulares de cada instalación.

Pero las principales ventajas o inconvenientes de cada sistema, y que puedan repercutir al buen uso del agua y la energía, podrían ser las siguientes.

1. Los sistemas por decodificadores respecto a las conexiones en paralelo, mejorarán las posibles detecciones de averías, al haber un solo cable que comunique con todos. Además, cualquier rotura de un cable, únicamente anulará la señal de las válvulas desde su rotura en adelante, garantizando un mayor control a la hora de la detección del fallo. Sistemas anillados en este sentido, asegurarán casi sin duda la ausencia de fallos en la instalación.

2. La comunicación por radio respecto a vía cable, mejora en cualquier caso los posibles problemas derivados de una mala ejecución del cableado, problemas por roedores, malas conexiones,..., pero deberá garantizarse una correcta señal instalando los repetidores que sean necesarios.

3. La comunicación monositio, tiene el inconveniente de que estar todo cableado, puedan existir problemas en la comunicación, no asegurando el riego. Pero por otro lado, podremos trabajar siempre en tiempo real, principalmente con la inclusión de sensores. Este trabajo en tiempo real garantizará también alarmas y respuestas en tiempo real.

4. La comunicación multisitio, pierde la posibilidad de esa monitorización en tiempo real, ya que son elementos intermedios los que gestionan el riego, debiendo acceder por cualquiera de los sistemas de comunicación antes expuestos, a la información que se va recogiendo en los programadores. Su ventaja principal, es la posibilidad de gestionar diferentes sitios físicamente alejados, desde un único sitio.

Un factor a tener muy en cuenta en cualquier tipo de instalación eléctrica por cable, como es en este caso, y más acusado en campos de golf que en parques y jardines de las ciudades, es el impacto que las tormentas eléctricas pueden generar sobre la instalación, pudiendo llegar a anular completamente un sistema centralizado. Es necesario tener esto siempre en cuenta, e instalar en todas las zonas cableadas, **sistemas de protección contra sobretensiones y para cable de comunicación**, con los elementos necesarios para evitar problemas eléctricos.

3. ELEMENTOS EXTERNOS DE SUPERVISIÓN, GESTIÓN Y CONTROL

Por simplificarlo de alguna manera, podemos decir que los sistemas de programación de los que hemos hablado, riegan porque a cada válvula se le asignan los días de funcionamiento, la hora de arranque y el tiempo de funcionamiento. Cuanto más avanzado sea el sistema de programación, más maneras tendrá de configurar estas variables.

Pero, para una correcta gestión, ahorro de agua y eficiencia energética del sistema, comentaremos distintos elementos o características

de los software, que deben ser tenidos muy en cuenta para garantizar el ahorro y la eficiencia. Entre ellos, enumeraremos:

4. GESTORES DE CAUDAL

Un **gestor de caudal, es la configuración hidráulica de la red de tuberías** de la red riego, generalmente **desde el cabezal de riego hasta las electroválvulas**. Van asociados a los software de riego centralizados, que se manejan desde un PC.

Como ya hemos visto en capítulos anteriores de esta guía, **en función del caudal, la velocidad, la sección y la longitud de una tubería, se generan mayores o menores pérdidas de carga**. Además, sabemos que en cualquier sistema de bombeo, existe un óptimo de rendimiento del sistema, que coincide con el caudal y la presión que nosotros demandamos en nuestra instalación.

Un gestor de caudal consiste en la definición en estructura de árbol, de la red hidráulica de riego. En esa estructura, nosotros debemos de prefijar en qué punto o puntos van conectando nuestros sectores de riego, cuyo caudal es conocido, **estableciendo para todos los ramales de la red primaria, el caudal máximo, la velocidad máxima o las pérdidas de carga admisibles**, variables todas que están vinculadas.

De este modo el sistema centralizado, cuando establece sus ciclos programados, lo hará siempre en base a los valores establecidos en el gestor de caudal. Aumentará la eficiencia energética del sistema por dos motivos:

- El sistema regará de modo automático, reduciendo al mínimo las pérdidas de carga por rozamiento en la instalación, que se producirían por altos caudales o velocidades. Al limitar el caudal máximo, también limitamos las pérdidas de carga.

- El sistema abrirá el máximo número de válvulas posibles, para alcanzar el caudal óptimo en el bombeo, lo que mejorará la eficiencia energética en la impulsión.

Vemos aquí en la Figura 3, una simulación del riego de 650 sectores de riego, utilizando dos bombeos (Azul y Rojo). El caudal óptimo del bombeo azul es de 130 m^3/h, y el del bombeo rojo de 40 m^3/h. En el

primer caso, el empleo de un gestor de caudal optimiza el caudal de funcionamiento (óptimo energético del sistema de impulsión), además de disminuir el tiempo de riego a 16 horas. En el segundo caso, se observa que el sistema no trabaja a su óptimo de caudal, y el tiempo de riego se prorroga hasta las 24 horas.

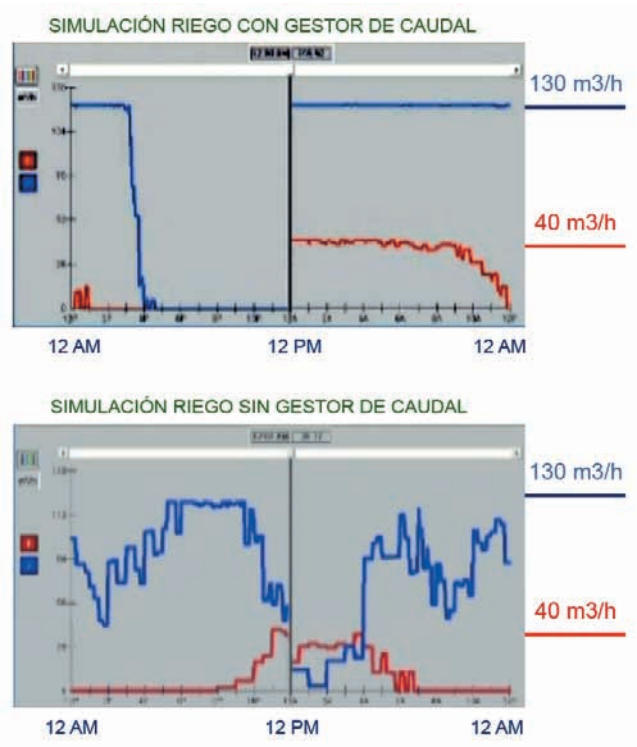


Figura 3. Simulaciones de riego empleando gestores de caudal. Fuente: Software Site Control de Rainbird

5. ESTACIONES METEOROLÓGICAS. RIEGO POR ET.

Otro elemento externo muy importante, en este caso pensando directamente en el ahorro de agua, e indirectamente en la energía, es la de basar el riego en estaciones meteorológicas, denominado **riego por ET**.

Una **estación meteorológica**, es un dispositivo instalado en campo, que aporta información de velocidad del viento, radiación solar, humedad relativa, lluvia caída, temperaturas, traduciendo estos valores

en el dato de evapotranspiración (ET), como ya hemos visto en el capítulo de agua y suelo.

Vemos aquí en la Foto 1, una estación meteorológica empleada para riego.

Foto 1. Estación meteorológica empleada para riego.
Fuente: Marcos Pérez

Cuando regamos por ET, debemos aplicarle a cada zona de riego, como ya vimos, un **coeficiente de cultivo Kc,** o porcentaje de agua respecto a la ET que consume una zona de riego. El valor de la Kc en jardinería no es un dato que se extraiga fácilmente de unas tablas, sino que depende de otros factores además de la propia especie, como son el microclima, su exposición, y la densidad de plantación. Por ello, lo recomendable antes de proceder al riego por ET, es tomar datos de campo durante el primer año, estableciendo los coeficien-

tes de cultivo para cada sector de riego, de modo empírico, supervisando continuamente el estado de humedad del terreno e ir afinando durante el segundo año estos valores.

Pero, realizando una labor de campo, estudio y análisis en campo, durante las diferentes etapas de crecimiento de las especies, podemos llegar a realizar el riego desde la estación meteorológica, regando, a la demanda del clima.

¿Dónde está el ahorro **del riego por ET?**

Generalmente se riega por tiempos fijos y no a la demanda del clima. Habitualmente se aplican tiempos de riego fijos para todos los sectores, en función del sistema de riego. Mayor tiempo para bajas pluviometrías (riego por goteo), y mayor tiempo para altas pluviometrías (riegos aéreos). Con ello, y en función de que estemos en primavera, verano u otoño, se va modificando los tiempos. Esto no significa que se riegue mal, ya que se entiende que el buen criterio y el control del gestor de riego, ha estudiado, analizado y valorado, cual es el mínimo que necesita la planta en los periodos de más calor. Pero, ¿qué ocurre si un día hace menos calor, o ha llovido, o hay más nubes en el cielo? **Ahí radica la ventaja del riego por ET**, ya que, esas mínimas diferencias que puedan existir entre un riego por tiempos fijos y un riego por ET, arrastradas a lo largo de todos los días del año, puede suponer un ahorro muy importante.

De esta manera, si observamos en el Gráfico 1, podemos ver una comparativa de la diferencia de consumo entre un riego por tiempos fijos y un riego por ET, durante dos mese de riego en verano. En el eje horizontal tenemos los días, en el eje vertical la pluviometría de riego aplicada. En un riego por tiempos fijos (línea roja), la dosis de riego aplicada es fija. En verde, vemos la ET a lo largo del tiempo y el agua que debería aplicarse, si el coeficiente de cultivo fuera Kc=1 (100 %). Cada día regaríamos estrictamente lo necesario, y la diferencia entre el área de una y otra curva, sería el agua ahorrada en el mes (sombreado azul).

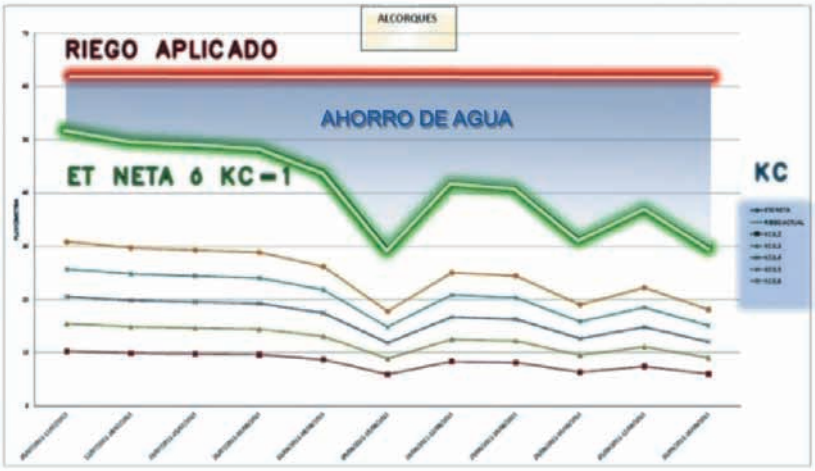


Gráfico 1. Riego por tiempos fijos Vs Riego por ET. Fuente: Audit Irrigation

En un riego por ET, nosotros debemos de cubrir las necesidades del día. Si por lo que sea un día en pleno verano es un poco más nublado, o hace menos calor o simplemente llueve, puede que durante esos días, en lugar de haber evaporado 8 mm han evaporado 6 mm. Si el programa, de forma automática, riega en esos días para cubrir los 6 mm y no los 8 mm máximos, será un 25 % de ahorro el que tendremos en ese día. Valor que se arrastra a lo largo de todos los días del año.

6. SENSORES DE HUMEDAD EN CAMPO

Los sensores de humedad, como ya hemos visto, nos aportan información del contenido de humedad del suelo, pudiendo establecerse como parámetro o variable para el riego, el garantizar un contenido de humedad mínimo/máximo en un suelo.

Generalmente existen software para regar en función de esta variable, siendo desde un punto de vista teórico y en condiciones ideales, más preciso que un riego por ET, ya que con este dato, indirectamente estamos calculando la ET y el coeficiente de cultivo, garantizando la humedad disponible en el suelo. Estos software, generalmente tienen mayor aplicación en el terreno agrícola, donde existe monocultivo, y las propiedades del suelo en la finca de cultivo, suelen ser más o menos homogéneas. En zonas verdes y campos de golf suele existir más heterogeneidad en cuanto a tipo de suelo y cultivo, debiendo esta-

blecer para tal fin un número de sensores suficientes que nos permitan extrapolar sus resultados a las condiciones reales de campo de todas las zonas regadas.

7. SENSORES DE PRESIÓN EN LA RED DE RIEGO

Otro aspecto muy importante para la eficiencia energética, ya hemos visto que es la presión de trabajo del sistema de impulsión, para garantizar una presión mínima en los emisores de riego. Ya hemos visto que existen elementos (trasductores de presión) que nos permiten la monitorización de la presión de trabajo en tiempo real.

Generalmente, en los sistemas de impulsión se tiene configurada una presión por encima de la realmente necesaria, para garantizar la presión aguas abajo. "Por si acaso, sube la presión", es la respuesta más usual ante casos de baja presión de trabajo del sistema. Pero recordemos todas las variables que influyen en una baja presión del sistema (pérdidas de carga, filtros sucios, roturas, varios sectores abiertos al mismo tiempo,...). Con la ayuda de los gestores de caudal y programación centralizada, paliaremos gran parte de estos problemas. Pero si nosotros pudiésemos regular la presión de trabajo del bombeo, a nuestras necesidades reales de funcionamiento en el momento en que regamos, o simplemente evitamos riegos en condiciones bajas de presión, aumentaríamos la eficiencia del sistema y reduciremos el gasto energético.

Para ello, es importante que los sistemas centralizados permitan la incorporación de éstos elementos, integrándolos en la gestión del software del riego. La información del trasductor de presión en la gestión del riego intervendrá de dos maneras:

- Podrá incidir sobre el bombeo, que de modo automático regulará la presión de salida, adaptándose a las condiciones particulares de cada zona de riego.

- También podrán intervenir sobre el software y la programación del riego, evitando riegos en condiciones de alta o baja presión, que no garanticen la eficiencia del sistema.

Ejemplo: Imaginemos una red de riego en la que se ha combinado a partes iguales sistemas aéreos, con una presión de trabajo de 4 bar y sistemas por goteo, con una presión de trabajo de 2 bar.

Aunque con 4 bar, podemos regar a 2 bar, instalando reguladores o reductores de presión en las electroválvulas, estaríamos perdiendo energía, ya que el bombeo está trabajando para mantener los 4 bar mientras que sólo necesitamos 2 bar cuando riegue el goteo. Con la ayuda de trasductores de presión y una buena gestión de la programación del riego, se podría organizar de manera que mientras rieguen sistemas de aspersión, el bombeo funcione para garantizar esos 4 bar, mientras que cuando rieguen sistemas por goteo, disminuir la presión de trabajo a los 2 bar.

8. SENSORES DE CAUDAL Y VÁLVULAS MAESTRAS EN LA RED DE RIEGO

Ya hemos visto en anteriores capítulos cómo funciona un contador y una válvula maestra. Es muy importante también el empleo de un software que permita la incorporación de estos sensores a la programación del riego.

Generalmente se instalan en el cabezal de riego, para controlar los consumos generales de la instalación, pero a medida que éstos elementos se van añadiendo en diferentes puntos aguas abajo, nos permitirá conocer con más exactitud los aportes de por distintas zonas. Podremos asegurar de un modo más rápido, en que ramales o subramales puede encontrarse localizada una avería, fuga, o cualquier otra anomalía en el sistema, en base a los parámetros de configuración introducidos. Influirán directamente en la gestión del agua, subdividiendo y monitorizando la red primaria en diferentes puntos e interrumpiendo suministro en caso de algún problema puntual que pudiera afectar a toda la instalación.

9. INTEGRACIÓN BOMBEO – SOFTWARE DE RIEGO

Por último, es muy importante también que el propio sistema de bombeo pueda integrarse en el software de riego y viceversa.

Por un lado, un registro de alarmas del bombeo, que en caso de fallo (baja presión, bajo caudal, fallo del sistema, problemas de suministro, problema en un motor,…) automáticamente envíe una orden a los programas de riego para que realicen una pausa, restableciendo las condiciones del riego una vez se haya solucionado el problema en el

cabezal. En todos los casos en los que el riego siga funcionando, sin funcionar el bombeo, estaremos desperdiciando el agua, ya que no garantizaremos la presión de funcionamiento de los emisores y además, la red primaria se vaciará por los sectores abiertos.

Otra gran ventaja será la monitorización en tiempo real desde la central del riego, del funcionamiento del bombeo, pudiendo intervenir sobre él, sin necesidad de ir físicamente a la sala de bombas, muchas veces alejada de la propia central. Podremos también de un modo rápido, intervenir sobre el sistema o visualizar cualquier fallo en el mismo.

8 OPTIMIZACIÓN DE TARIFAS

1. TARIFAS

A partir del 1 de julio de 2009 entra en vigor un nuevo sistema de tarifas eléctricas en el que coexisten, por un lado, el **Mercado Libre,** y por otro lado, una tarifa fijada por el Gobierno, la **Tarifa de Último Recurso (TUR).**

1.1. Tarifa de Último Recurso: TUR

El gobierno es el encargado de fijar el precio de la TUR.

Está reservada para los consumidores conectados en baja tensión cuya potencia contratada sea inferior a 10 kW, segmento en el que se encuentran prácticamente todos los consumidores domésticos.

La TUR se contrata a través de una empresa comercializadora de último recurso.

Existen cinco empresas comercializadoras de último recurso:

- Endesa Energía XXI, S.L.
- Iberdrola Comercialización de Último Recurso, S.A.U.
- Unión Fenosa Metra, S.L.
- Hidrocantábrico Energía Último Recurso, S.A.U.
- E.ON Comercializadora de Último Recurso, S.L.

Opcionalmente, los consumidores acogidos a esta tarifa que dispongan del equipo de medida, podrán acogerse a:

— **Modalidad 2.0 DHA,** la modalidad de discriminación horaria que diferencia dos periodos tarifarios al día, periodo 1 y periodo 2, Tabla 1, diferentes según sea invierno o verano, Tabla 2:

Tabla 1. Periodos tarifarios día en modalidad 2.0 DHA.

Periodos Tarifarios	Duración
P1	10 h/día
P2	14 h/día

Fuente: BOE

Tabla 2. Periodos tarifarios invierno/verano en modalidad 2.0 DHA.

Invierno		Verano	
P1	P2	P1	P2
12-22	0-12 22-24	13-23	0-13 23-24

Fuente: BOE

— **Modalidad 2.0 DHS,** modalidad con discriminación horaria supervalle con tres periodos tarifarios al día, periodo 1, periodo 2 y periodo 3, que serán los mismos durante el invierno y el verano, Tabla 3.

Tabla 3. Periodos tarifarios modalidad 2.0 DHS.

Periodos Tarifarios	Duración	Horas
P1	10 h/día	13-23 h
P2	8 h/día	0-1, 7-13 y 23-24 h
P3	6 h/día	1-7 h

Fuente: BOE

A continuación, se incluye la parte de la *«Resolución de 25 de abril de 2012, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se establecen las tarifas de último recurso a aplicar en el periodo comprendido entre el 1 de octubre y el 22 de diciembre de 2011, ambos inclusive, y en el primer trimestre de 2012 y se establece el coste de producción de energía eléctrica y las tarifas de último recurso a aplicar a partir del 1 de abril de 2012.»,* donde se define el término de potencia y el **término de energía activa de las tarifas de último recurso aplicables a partir del 1 de junio 2012,** Tabla 4.

Tabla 4. Término de potencia y el término de energía activa de las tarifas de último recurso aplicables a partir del 1 de junio 2012.

– Término de potencia:
TPU = 21,893189 euros/kW y año.
– Término de energía: TEU.
– Modalidad sin discriminación horaria:
TEU0 = 0,142208 euros/kWh.
– Modalidad con discriminación horaria de dos periodos:
TEU1= 0,172518 euros/kWh.
TEU2 = 0,060780 euros/kWh.
– Modalidad con discriminación horaria supervalle:
TEU1= 0,172358 euros/kWh.
TEU2= 0,070440 euros/kWh.
TEU3= 0,054405 euros/kWh.

Fuente: BOE

Puede apreciarse que no se marca el precio de la energía reactiva, porque no se contempla en la TUR.

1.2. Mercado Libre

Las tarifas eléctricas del mercado libre no están fijadas por el gobierno.

En el mercado libre, las comercializadoras pueden competir en el precio de sus tarifas, y el consumidor puede decidir libremente qué comercializadora quiere contratar.

En el mercado libre encontramos más de 50 empresas comercializadoras de electricidad.

La ventaja principal del mercado libre es que sus tarifas pueden llegar a ser inferiores al precio establecido en la TUR y el ciudadano puede ahorrar en su tarifa de luz.

Las principales características a destacar de las tarifas del mercado libre son:

— Los servicios técnico y comercial recaen en el distribuidor y comercializador, respectivamente.

— El comercializador asume el riesgo del mercado y puede ofrecer multiservicios.

— El precio de la utilización de la red de transporte y distribución está fijada por el gobierno mediante las tarifas de acceso. También se conoce como peaje.

— El alquiler del contador y servicios de lectura, también está fijado por el gobierno.

— Se pagarán, asimismo, los impuestos especiales de la electricidad y el IVA.

— Se debe de mantener la misma calidad de suministro.

— El comercializador, según contrato establecido con el consumidor, emite una factura a pagar, normalmente mensual.

1.3. Tarifas de acceso o peaje

Los peajes de acceso a las redes son únicos en todo el territorio nacional y no incluyen ningún tipo de impuestos.

Tienen en cuenta las especialidades por niveles de tensión y las características de los consumos por horario y potencia.

Las Tarifas de Acceso Existentes pueden verse en la Tabla 5:

Tabla 5: Tarifas de acceso existentes.

Tarifas de baja tensión (U ≤ 1 kV)	Tarifas de alta tensión (U > 1 kV)
Tarifa 2.0 A: tarifa simple (1 ó 2 períodos horarios y Potencia contratada ≤ 10 kW)	
Tarifa 2.1 A: tarifa simple (1 ó 2 períodos horarios y Potencia contratada >10 kW y ≤ 15kW)	Tarifa 3.1 A: Tarifa específica (3 períodos horarios y potencia contratada ≤ 450 kW)
Tarifa 3.0 A: tarifa general (3 períodos horarios)	Tarifas 6: Tarifas generales para alta tensión (6 períodos horarios y 5 escalones de tensión)

Fuente: BOE

2. CASO PRÁCTICO: Análisis de una factura real

A continuación se va a analizar el consumo energético de una campo de golf, a partir del análisis de una factura eléctrica real que pertenece a un sistema de impulsión de un campo de golf de la Comunidad de Madrid.

La factura corresponde al periodo de facturación que va del 1 de octubre de 2011 al 31 de octubre de 2011.

Describimos brevemente las características del sistema de impulsión al que pertenece la factura que vamos a estudiar:

— El sistema de impulsión corresponde a un campo de golf, y se utiliza para impulsar el agua desde un depósito de riego hasta los aspersores del campo de golf.

— La Potencia Contratada con la empresa comercializadora de electricidad es de 225 kW. Dando por hecho que la Potencia Contratada es la más adecuada para la instalación.

— El riego se realiza durante la noche.

En primer lugar, analizamos la **estructura de la factura eléctrica** en la Figura 1, que es la siguiente:

CONCEPTO/CÁLCULO		IMPORTE
Energía Eléctrica P1: 2.064,00 kWh x 12,4484 cents.€/kWh P2: 9.388,00 kWh x 11,1111 cents.€/kWh P3: 8.267,00 kWh x 8,0241 cents.€/kWh		1.963,39 €
Término de Potencia P1: 225,00 kW x 0,069152 €/kW-día x 31 días P2: 225,00 kW x 0,042644 €/kW-día x 31 días P3: 225,00 kW x 0,009779 €/kW-día x 31 días		847,98 €
Excesos / Bonificación Potencia P1: (191,25 - 225,00) kW x 0,069152 €/kW-día x 31 días P2: (289,50 - 225,00) kW x 0,042644 €/kW-día x 31 días P3: (244,50 - 225,00) kW x 0,009779 €/kW-día x 31 días		18,83 €
Excesos de Reactiva P1: 476,88 kVArh x 0,043679€/kVArh P2: 1.665,96 kVArh x 0,043679€/kVArh		93,60 €
Alquiler Equipo de medida	1,1836 € /día x 31 días	36,69 €
Base I.V.A.		2.960,49 €
I.V.A. 18 %	APLICACION CONTABLE	532,89 €
IMPORTE TOTAL	62801 0005	3.493,38 €

Figura 1. Factura eléctrica sistema de impulsión de un campo de golf.

En la Figura 1 puede verse que la tarifa contratada es una tarifa de Baja Tensión y con 3 periodos de discriminación horaria. Por tanto, se trata de la **Tarifa 3.0 A: tarifa general (3 períodos horarios)**, y así debe indicarlo la empresa comercializadora de la electricidad en la factura.

Las características de esta tarifa son:

– Tarifa general para baja tensión.

– Modalidad de tres períodos horarios.

La duración de cada período será la que se detalla a continuación:

Periodo Punta . . . . . 4 h/día

Periodo Llano . . . . . 12 h/día

Periodo Valle . . . . . 8 h/día

Se horas punta, llano y valle en la Comunidad de Madrid, se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6. Periodos tarifarios Tarifa 3.0A en la Comunidad de Madrid

	Invierno			Verano		
	Punta P1	Llano P2	Valle P3	Punta P1	Llano P2	Valle P3
Periodo Horario	18-22	8-18 22-24	0-8	9-13 13-24	8-9	0-8

Los cambios de horario de invierno a verano o viceversa coinciden con la fecha del cambio oficial de hora.

– El término de facturación de energía reactiva se aplicará sobre los períodos tarifarios (P1 y P2), excepto en el período 3 (P3).

La corrección del factor de potencia es obligatoria. Cuando un consumidor tenga un consumo de energía reactiva superior a 1,5 veces el de energía activa en tres o más mediciones, la empresa distribuidora que le suministra deberá comunicarlo al organismo competente de la Comunidad Autónoma, quien podrá establecer al consumidor un

plazo para la mejora de su factor de potencia y, si no se cumpliera el plazo establecido, podrá llegar a ordenar la suspensión del ejercicio del derecho al acceso a las redes en tanto no se mejore la instalación en la medida precisa.

En la factura que nos hace llegar la empresa distribuidora tienen que aparecer todos los datos necesario para calcular el consumo de energía activa, energía reactiva y de potencia de nuestra instalación, Figura 2.

Consumos

CUPS: ES0021000004836745YA0P		P1	P2	P3	P4	P5	P6	Totales
E. Activa	Lectura anterior	144.051	736.347	985.952	61.696	81.522	193.844	
	Lectura actual	144.072	742.803	990.415	63.739	84.454	197.648	
	Coeficiente	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
	Ajuste	0	0	0	0	0	0	
	Consumo (kWh)	**21**	**6.456**	**4.463**	**2.043**	**2.932**	**3.804**	**19.719**
E. Reactiva	Lectura anterior	33.124	249.102	387.226	20.370	31.466	77.571	
	Lectura actual	33.149	252.393	389.388	21.503	32.939	79.502	
	Coeficiente	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
	Ajuste	0	0	0	0	0	0	
	Consumo (kVArh)	**25**	**3.291**	**2.162**	**1.133**	**1.473**	**1.931**	**10.015**
Potencia	Potencia Máxima (kW)	3	254	239	134	192	169	
	Excesos Potencia (Aei)	0	0	0	0	0	0	
	Pot. Contratadas (kW)	225	225	225	0	0	0	

Figura 2. Consumo de Energía Activa, Energía Reactiva y Potencia, que aparece en la factura eléctrica del sistema de impulsión.

Energía Activa

Las máquinas eléctricas que trabajan en corriente alterna convierten la energía eléctrica en trabajo mecánico y calor. Esta **energía se llama activa** y es medida en **kWh.**

Para el cálculo del coste energético de la Energía Activa, será necesario multiplicar la energía activa consumida (kWh) por el término de energía.

El término de energía es un coste derivado del consumo de energía y va destinado a las compañías comercializadoras.

El coste energético variará sustancialmente si el consumo de energía se realiza en los periodos más baratos (especialmente durante la noche), que es lo que se contempla en la componente de discriminación horaria.

A partir de los datos de la Figura 2, vamos a calcular el coste energético de la Energía Activa consumida por el sistema de impulsión del

1 al 31 de octubre de 2011, y así confirmar el cálculo de la energía eléctrica consumida por periodo tarifario y el importe que aparecen en la factura.

En la factura aparece la siguiente Energía Activa a facturar:

Energía Eléctrica	1.963,39 €
P1: 2.064,00 kWh x 12,4484 cents.€/kWh	
P2: 9.388,00 kWh x 11,1111 cents.€/kWh	
P3: 8.267,00 kWh x 8,0241 cents.€/kWh	

Aunque antes hemos comentado que se trataba de una tarifa de tres periodos horarios, sin embargo, esta compañía comercializadora muestra 6 periodos horarios en la factura (podemos ver los 6 periodos en la Figura 2).

La empresa comercializadora debería mostrar sólo 3 periodos, y así debemos reclamárselo, ya que mostrar 6 periodos da lugar a confusión y además va a complicar la comprobación de los consumos en cada uno de los 3 periodos tarifarios contratados.

Primero, vamos a convertir los datos de consumo en 6 periodos (Figura 2) a consumo en 3 periodos de nuestra instalación:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total
Consumo de Energía Activa (kWh)	21	6.456	4.463	2.043	2.932	3.804	19.719

El cálculo del coste energéticos de la Energía Activa sería el siguiente:

- Consumo P1: (P1+P4) = 21 + 2.043 = 2.064,00 kWh x Término de energía P1 (12,4484 cents.€/kWh) = 256,9349 €

- Consumo P2: (P2+P5) = 6.456 + 2.932 = 9.388,00 kWh x Término de energía P2 (11,1111 cents.€/kWh) =1.043,1100 €

- Consumo P3: (P3+P6) = 4.463 + 3.804 = 8.267,00 kWh x Término de energía P3 (8,0241 cents.€/kWh) = 663,3523 €

Total = 1.963,39 €

Se recomienda que el riego se lleve a cabo durante las horas en las que la energía eléctrica tiene un menor coste, esto es, durante las horas Valle (P3) para reducir el coste energético.

Término de potencia

El término de potencia, denominado también término fijo o peaje, es un coste derivado del transporte de la energía eléctrica por la red.

El precio de este término está regulado por la legislación y lo recibe la empresa distribuidora.

Es muy importante destacar que la contratación de potencia en cada periodo tarifario debe ajustarse a las necesidades de riego, considerando la potencia de

los equipos instalados y su simultaneidad en el manejo, para así minimizar el coste fijo de la factura.

Se calcula multiplicando la potencia a facturar por el precio del término de potencia y por el número de días que se facturan.

En la factura aparece lo siguiente:

Término de Potencia P1: 225,00 kW x 0,069152 €/kW-día x 31 días P2: 225,00 kW x 0,042644 €/kW-día x 31 días P3: 225,00 kW x 0,009779 €/kW-día x 31 días	**847,98 €**

Para el cálculo del término de potencia se ha multiplicado la potencia contratada (225 kW) por el precio del término de potencia (kW) en cada periodo de facturación, y por los días que tiene el mes de octubre, 31 días, ya que la factura como hemos dicho anteriormente corresponde al consumo energético de ese mes:

- Término de potencia en P1 = 0,069152 €/kW
- Término de potencia en P2 = 0,042644 €/kW
- Término de potencia en P3 = 0,009779 €/kW

Es importante tener en cuenta que el contrato de acceso es anual, y que por tanto no será posible cambiar las condiciones hasta pasados 12 meses.

Excesos/Bonificación de Potencia

El artículo 19 de la Orden ITC 1659/2009 que hace referencia al artículo 9 del RD 1164/2001, indica que el **control de potencia** consumida por la instalación se hará:

- Con un ICP (interruptor de control de potencia) cuando la potencia contratada se inferior o igual a 15 kW.

- Con un maxímetro cuando la potencia contratada sea mayor de 15 kW.

El maxímetro registra la potencia máxima demandada por un cliente durante un período de 15 minutos, la cual va a servir para establecer el **término de potencia** del período de facturación (lo que cuesta fijo al mes cada uno de los kW contratados). Se incorpora a cualquier contador y normalmente se suele colocar en el contador de activa de los equipos de medida.

El cálculo de la potencia a facturar se hará de la siguiente manera:

- Si no existe maxímetro, la potencia a facturar será la potencia contratada

- Si existe maxímetro, la potencia a facturar será calculada de la siguiente manera:

• Si la potencia marcada por el maxímetro es menor del 85 % de la potencia contratada, se factura el 85 % de dicha potencia contratada.

En nuestro caso práctico, el 85 % de 225 kW (potencia contratada) son 191,25 kW.

• Si la potencia marcada por el maxímetro es mayor del 85 % y menor del 105 % de la potencia contratada, se factura la potencia marcada por el maxímetro.

- Si la potencia marcada por el maxímetro es mayor del 105 % de la potencia contratada, se factura la potencia que marca el maxímetro más el doble de la diferencia entre la potencia marcada y el 105 % de la potencia contratada.

En la factura aparece lo siguiente:

Excesos / Bonificación Potencia **18,83 €**

P1: (191,25 - 225,00) kW x 0,069152 €/kW-día x 31 días
P2: (289,50 - 225,00) kW x 0,042644 €/kW-día x 31 días
P3: (244,50 - 225,00) kW x 0,009779 €/kW-día x 31 días

Primero, vamos a convertir los datos de consumo en 6 periodos (Figura 2) a consumo en 3 periodos:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Potencia Contratada (kW)	225	225	225	225	225	225
Potencia Máxima (kW)	3	254	239	134	192	169
Potencia Máxima (%)	1%	113%	106%	60%	85%	75%
Potencia a Facturar* (kW)	191,25	289,50	244,50	191,25	192	191,25
	<85%	>105%	>105%	<85%	85%	<85%

- P1: (P1+P4): Potencia Máxima = 191,25 kW
- P2: (P2+P5): Potencia Máxima = 289,50 kW
- P3: (P3+P6): Potencia Máxima = 244,50 kW

Si, como hemos determinado anteriormente:

- Término de potencia en P1 = 0,069152 €/kW
- Término de potencia en P2 = 0,042644 €/kW
- Término de potencia en P3 = 0,009779 €/kW

Para el cálculo del Exceso/Bonificación de Potencia, sólo tenemos que multiplicar la diferencia entre la potencia contratada y la potencia máxima en cada periodo por el término fijo de potencia y por lo 31 días del mes de octubre:

- P1 = (225 kW – 191,25 kW) * 0,069152 €/kW * 31 días = 72,35 €
- P2 = (225 kW – 289,50 kW) * 0,042644 €/kW * 31 días = - 85,26 €
- P3 = (225 kW – 244,50 kW) * 0,009779 €/kW * 31 días = - 5,91 €

Total = 18,8 €

Estos 18,8 € son una **penalización** por no mantenernos dentro de ese rango de potencia máxima que va desde el 85 % hasta el 105 % de la potencia contratada. Si la potencia contratada no es la adecuada, esta penalización puede ser un coste importante en nuestra instalación, además de que estaremos pagando por una potencia que no estamos utilizando.

Es por esto, que es fundamental que la instalación esté bien dimensionada en base a las necesidades de riego, que conozcamos a la perfección el funcionamiento de la instalaciones y que los equipos seleccionados sean los más eficientes desde el punto de vista energético, porque de todo ello va a depender la potencia contratada.

Excesos de reactiva

La componente reactiva, también denominada energía reactiva, factor de potencia o coseno de fi (aunque no es lo mismo), es un coste derivado del transporte de la energía por la red eléctrica.

La energía reactiva no es útil y es generada por los campos magnéticos de las bobinas de los motores.

Las compañías distribuidoras penalizan por la energía reactiva que produzca un instalación.

En la *Orden ITC/3519/2009, de 28 de diciembre, por la que se revisan los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2010 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial,* se indica que a los suministros en baja tensión y alta tensión en el mercado liberalizado se le aplicarán los siguientes complementos por energía reactiva (excesos de reactiva):

ANEXO 1.3. Término de facturación de energía reactiva (Artículo 9.3 del Real Decreto 1164/2001, de 26 de Octubre):

Cos Φ	Euro/kVArh
Cos Φ < 0,95 y hasta cos Φ = 0,80	0,041554
Cos Φ < 0,80	0,062332

Es decir, si el coseno de fi es inferior a 0,95 estaremos siendo penalizados.

En la factura del sistema de impulsión que estamos estudiando aparece lo siguiente:

Excesos de Reactiva 93,60 €

P1: 476,88 kVArh x 0,043679€/kVArh
P2: 1.665,96 kVArh x 0,043679€/kVArh

El cálculo del exceso de energía reactiva se realiza de la siguiente forma:

En primer lugar, aclarar que el P3 está exento de penalización de energía reactiva, por eso no aparece en la factura.

Para los otros dos periodos, P1 y P2, no puede suponerse un Coseno de fi inferior a 0,95, o lo que es lo mismo a partir de una tangente de 0,33, Figura 3.

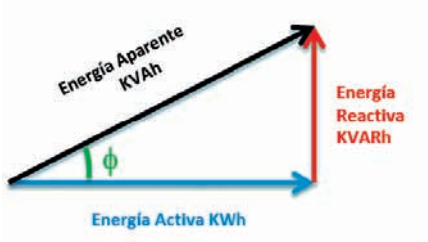


Figura 3. Triángulo de potencias.

Para el cálculo de la Energía Reactiva a facturar, será necesario aplicar las siguientes fórmulas:

Tangente = Energía Reactiva Límite (kVARh) / Energía Activa (kWh)

Energía Reactiva Límite (kVARh) = Energía Activa (kWh) x Tangente

Teniendo en cuenta la Energía Activa consumida:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total
Consumo de Energía Activa (kWh)	21	6.456	4.463	2.043	2.932	3.804	19.719

Y considerando un coseno de fi de 0,95, y por tanto, una tangente de 0,33, calculamos la Energía Reactiva Límite en P1 y P2:

P1 = (P1+P4) = (21+2.043) x 0,33 = 681,12 kVARh

P2 = (P2+P5) = (6.456 + 2.932) x 0,33 = 3.098,04 kVARh

La Energía Reactiva medida que aparece en la factura es la siguiente:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total
Consumo de Energía Reactiva (kWARh)	25	3.291	2.162	1.133	1.473	1.931	10.015

P1 = (P1 + P4) = 25+1133 = 1.158 kVARh

P2 = (P2 + P5) = 3.291 + 1.473 = 4.764 kVARh

La diferencia entre la Energía Reactiva y la Energía Reactiva Límite es la siguiente:

P1 = (P1 + P4) = 1.158 – 681,12 = 476,88 kVARh

P2 = (P2 + P5) = 4.764 - 3.098,04 = 1.665,96 kVARh

Si multiplicamos la diferencia entre la Energía Reactiva y la Energía Reactiva Límite por el término de Energía Reactiva, nos sale la Energía Reactiva a facturar:

P1 = (P1 + P4) = 476,88 kVARh x 0,043679 €/kVARh = 20,829641 €

P2 = (P2 + P5) = 1.665,96 kVARh x 0,043679 €/kVARh = 72,767466 €

Total = 93,60 €

Esta energía reactiva es producida, como ya dijimos anteriormente, por los campos magnéticos de las bobinas de los motores.

Para mejorar la eficiencia energética de aquellas instalaciones con consumo de energía reactiva, se recomienda reducir la energía reactiva producida incorporando una batería de condensadores en la línea eléctrica que alimenta el sistema de impulsión, y realizar su adecuado mantenimiento.

Para terminar, decir que el coste del término de potencia y de la energía, así como el de la penalización por energía reactiva, está gravado por el impuesto sobre la electricidad y el resultado, junto con el alquiler del equipo de medida está gravado por el 18 % de IVA.

9 APLICACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ZONAS VERDES Y CAMPOS DE GOLF. PERIODOS DE AMORTIZACIÓN

Dña. Raquel Hoyos López
Directora Técnica-General
Abaco Ambiental
www.abacoambiental.com

1. INTRODUCCIÓN

Como actuación específica para los campos de golf podríamos utilizar sistemas de energías renovables para satisfacer las necesidades energéticas de los mismos, con el objetivo incluso de llegar a ser autosostenible mediante la aplicación de energías limpias.

Dentro de las energías renovables, podríamos utilizar la energía solar térmica para cubrir las necesidades térmicas de los edificios asociados al campo de golf.

El principio de la energía solar térmica consiste en aprovechar la radiación solar para calentar fluidos. Con esta energía podríamos suministrar las necesidades energéticas para agua caliente sanitaria y calefacción de los edificios asociados al campo; sustituyendo a las fuentes de energías convencionales contaminantes por la energía del sol, limpia, inagotable y barata.

Por otro lado, y centrándonos en el ahorro de energía eléctrica para las necesidades del riego de los campos de golf, podríamos utilizar la energía solar fotovoltaica así como la energía eólica para el suministro de electricidad a estos sistemas (al igual que para la alimentación eléctrica de otras instalaciones: oficina, carritos y buggies…).

El fundamento de la energía solar fotovoltaica es el efecto fotovoltaico, que consiste en la conversión de la radiación solar en electricidad. Este proceso se consigue con algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones u emitir electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad. Los módulos fotovoltaicos transforman la luz del sol directamente en energía eléctrica. La energía producida

por los módulos fotovoltaicos se acumula en un sistema de baterías. De este modo la energía producida durante las horas de sol se pueden utilizar durante la noche, o en momentos en los que no se disponga de la suficiente radiación solar para generar la energía necesaria. Para controlar los procesos de carga y descarga de la batería se utiliza un regulador de carga. Este elemento es el encargado de proteger la batería contra sobrecargas o contra sobredescargas excesivas que podrían resultar dañinas para la batería, acortando su vida útil.

Los módulos fotovoltaicos producen corriente continua, que se puede almacenar directamente en baterías. En el caso de que se desee dar servicio a consumos en corriente alterna es necesario disponer de un inversor que se encargue de transformar la corriente continua en corriente alterna con el máximo rendimiento posible.

Foto 1. Ejemplo de cubierta fotovoltaica inclinada.
Fuente: Abaco Ambiental

También podríamos utilizar la energía eólica, que es la energía obtenida del viento principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores.

A veces es muy aconsejable el uso de sistemas híbridos de energía eólica en combinación con la energía solar fotovoltaica.

Foto 2. Ejemplo de sistema híbrido: energía solar + energía fotovoltaica. Fuente: Abaco Ambiental

2. CASO PRÁCTICO: INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA RENOVABLE EN UN CAMPO DE GOLF DE 18 HOYOS.

Vamos a realizar el **estudio práctico real del coste de una instalación mediante un sistema de energía renovable**, para abastecer completamente el gasto energético del sistema de impulsión de un campo de golf con 18 hoyos. Del mismo modo podríamos realizar el estudio para el riego de cualquier zona verde.

El campo de golf tiene unas 30 ha de zona de riego y está ubicado en un municipio de la Comunidad de Madrid.

Los sistemas de impulsión del sistema de riego que tienen consisten en:

- **B1** (Bombeo 1): Sistemas de impulsión de balsa a depósitos de acumulación, con cinco bombas de 30 kW.
- **B2** (Bombeo 2): Sistemas de impulsión de los depósitos de acumulación a la zona de riego, con cuatro bombas de 30 kW.

A continuación, en la siguiente tabla, podemos ver el consumo de agua, así como las horas teóricas de funcionamiento que tendrá cada bombeo.

Mes	ET0	Rad MJ/m2/d	Consumo Agua m3/mes	Consumo Agua m3/día	Horas Funcionamiento B1	Horas Funcionamiento B2
Enero	1,33	6,6	20.239	665	1,23	1,54
febrero	1,95	10,0	29.580	973	1,80	2,25
Marzo	2,92	12,8	44.370	1.459	2,70	3,38
Abril	3,89	17,5	59.160	1.945	3,60	4,50
Mayo	4,92	20,9	74.729	2.457	4,55	5,69
Junio	6,23	24,3	94.773	3.116	5,77	7,21
Julio	7,40	26,2	112.483	3.698	6,85	8,56
Agosto	6,76	23,5	102.752	3.378	6,26	7,82
Septiembre	4,63	16,6	70.448	2.316	4,29	5,36
Octubre	2,87	11,5	43.592	1.433	2,65	3,32
Noviembre	1,77	7,8	26.856	883	1,64	2,04
Diciembre	1,38	5,7	21.018	691	1,28	1,60

Donde:

- ET0: Coeficiente de evapotranspiración medido por estación meteorológica real ubicada en la Comunidad de Madrid.
- Rad: Radiación solar medida por estación meteorológica real ubicada en la Comunidad de Madrid.

Fuente: Datos reales aportados por un campos de golf de la Comunidad de Madrid.

Con los precios actuales de los paneles fotovoltaicos, es más rentable económicamente utilizar energía fotovoltaica que energía eólica. Además, en este caso, un sistema híbrido no es lo más apropiado, ya que la mayor necesidad de agua es en verano, época en la que suele hacer menos viento en la zona de estudio. Por el otro lado, la mayor necesidades de riego se corresponde con la época del año en la que más radiación solar hay. No obstante, actualmente hay aerogenera-

dores en el mercado con un diseño muy avanzado, silenciosos, y muy integrables y eficientes en vientos turbulentos.

En base a esto, diseñamos un sistema fotovoltaico aislado para alimentar una de las bombas (de las 9) del campo de golf en estudio, de 30 kW durante 8 horas diarias en verano.

2.1. Datos de partida

Los datos de partida reales de nuestro campo de golf en estudio y como base para realizar el diseño de nuestro sistema fotovoltaico aislado son:

Ubicación de la instalación (Provincia)	Madrid		
Inclinación del campo solar	15º		
Radiación solar disponible		h.s.p.	Meses
	Media tres meses < consumo	2,45	(ene,dic,nov)
	Media tres meses > consumo	6,79	(jun, jul, ago)
Autonomía del sistema	3 días		
Margen de seguridad para el diseño	10 %		

Donde:

- Inclinación del campo solar: Inclinación de los paneles fotovoltaicos respecto a la horizontal.
- h.s.p.: Hora de sol pico mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiación solar constante de 1.000 W/m2. Una hora solar pico equivale a 3.6 MJ/m2 o, lo que es lo mismo, 1 kWh/m2.

Autonomía del sistema: Autonomía de las baterías

2.2. Inventario de consumos

A continuación calculamos la energía necesaria diaria para nuestra bomba de cálculo:

Aparato	Potencia (W)	Cantidad	Horas/día	Energía (Wh)
Bomba	30.000	1	8	240.000
CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL (Wh)				240.000

2.3. Dimensionado del sistema

Realizamos el diseño de nuestro generador fotovoltaico:

Energía de partida para cálculo (energía/margen de seguridad)	266.667 Wh/día
Tecnología del regulador de carga (MPPT o PWM)	MPPT
Modelo de panel seleccionado	Silicio monocristalino 190 W
Potencia efectiva del módulo en batería, regulador PWM	133 W
Potencia efectiva del módulo en batería, con regulador MPPT	171 W
Número de módulos necesarios (para una bomba)	229,79 uds
Superficie total módulos	293,63 m2
Tensión nominal del sistema de acumulación	48 Vcc
Consumo diario en Amperios-hora	5.001 Ah/día
Máxima profundidad de descarga	60 %
Capacidad mínima de la batería	25.005 Ah/C100
Intensidad máxima del módulo (Isc)	5,62 A
Intensidad máxima del campo solar	1.292,6 A
Potencia instantánea de consumo máxima	30.000 W
Factor de pico de arranque	1,5
Potencia mínima del convertidor	45.000 VA

Donde:

- Tecnología del regulador de carga MPPT: permiten sacar la máxima potencia de los módulos, haciéndolos trabajar siempre en su punto de máxima potencia (MPPT).
- Tecnología del regulador de carga PWM: es un regulador sencillo que actúa como un interruptor entre los módulos fotovoltaicos y la batería. Conectados a un regulador PWM, los módulos fotovoltaicos están forzados a trabajar a la tensión de la batería, lo que resulta en pérdidas de rendimiento respecto al punto de máxima potencia (MPP) de los módulos
- Modelo de panel: Formado por un conjunto de células fotovoltaicas de silicio monocristalino, eléctricamente conectadas unas a otras, encapsuladas montadas en una lámina y una estructura soporte o marco. Cada módulo tendrá una potencia de 190 Wp (vatios pico, en condiciones estándar de prueba: 1000W/m^2 y 25ºC),

- Potencia efectiva de módulo en batería con regulador MPPT: la potencia efectiva del módulo con reguladores MPPT que permiten sacar la máxima potencia de los módulos, haciéndolos trabajar siempre en su punto de máxima potencia (MPPT).
- Superficie total módulos: es la superficie total del conjunto de los módulos fotovoltaicos. La superficie ocupada en la instalación por los mismos puede ser mayor, puesto que habrá que calcular las distancias para evitar sombreamientos de los mismos en caso que los hubiera. Esto dependerá de dónde y cómo se instalen.
- Tensión nominal del sistema de acumulación: tensión de diseño de la batería de acumulación.
- Consumo diario en Amperios-hora: indica el consumo diario medido como la cantidad de carga eléctrica que pasa por los terminales de una batería, si ésta proporciona una corriente eléctrica 1 amperio durante 1 hora.
- Máxima profundidad de descarga: **Máximo** porcentaje de la capacidad que se extrae de la batería comparada con la capacidad a plena carga (Capacidad nominal).
- Capacidad mínima de la batería: Cantidad mínima de carga que es posible extraer de una batería en 100 horas (**C_{100}**), medida a una temperatura de 20°C, hasta que la tensión en sus vasos llegue a 1,8V/vaso.
- Intensidad máxima del módulo: corriente máxima del módulo (amperios).
- Intensidad máxima del campo solar: corriente máxima del conjunto del generador fotovoltaico constituido por paneles solares interconectados formando ramas (filas o paneles conectados en serie) interconectadas en paralelo.
- Potencia mínima del convertidor: potencia mínima que tendrá que tener el inversor que convierte la corriente continua o directa proveniente de las baterías en corriente alterna monofásica o trifásica

En cuanto a la ubicación de nuestro generador fotovoltaico, los paneles fotovoltaicos, deben ubicarse en un lugar libre de sombras durante las horas centrales del día y de modo que los módulos, una vez montados, dispongan de la orientación e inclinaci**ón adecuadas, que en nuestro caso práctico sería orientación sur, inclinación** 15-30**º.**

Las estructuras soporte y los módulos fotovoltaicos podrán instalarse sobre las cubiertas de edificios existentes, ya sean las mismas inclinadas o planas; sobre suelo al mismo nivel, en estructuras elevadas sobre el mismo suelo en forma de pérgola, marquesina o tipo mástil…, incluso se pueden integrar sobre fachadas y/o edificios.

Foto 3. Ejemplo fotovoltaica instalada sobre una pared.
Fuente: Abaco Ambiental.

Para su aplicación a los campos de golf al igual que en cualquier zona verde, a la hora de elegir la ubicación de la estructura y los módulos fotovoltaicos, debe prestarse especial atención al impacto visual y al riesgo de los posibles impactos sobre los mismos o actos vandálicos. Se podrían poner sistemas de seguridad como vallados y demás. Por otro lado, los sistemas solares suelen quedar muy bien integrados en zonas verdes.

Foto 4. Ejemplo fotovoltaica instalada sobre suelo.
Fuente: Abaco Ambiental.

En cuanto a la ubicación del resto de elementos de la instalación fotovoltaica como regulador, baterías (acumuladores eléctricos) e inversor, debemos intentar ubicarlos en un lugar cerrado protegido de intemperie, ya sea en edificio existente, en una caseta o armario exterior (aunque también hay en el mercado elementos resistente a intemperie).

2.4. Oferta económica

A continuación hacemos desglose de un posible presupuesto real de nuestro sistema fotovoltaico:

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P.U. (€)	P.T. (€)
Módulo fotovoltaico 190 Wp, 24 Vcc	230	197,00	45.310,00
Estructura con inclinación (15°-30°) para montar en suelo/cubierta. 10 paneles	23	438,00	10.074,00
Regulador maximizador 80 A, 12-24-48 Vcc	12	580,00	6.960,00
Acumulador estacionario Exide solar 3.040 Ah/C100. Vaso de 2 Vcc	192	685,00	131.520,00
Convertidor CC/CA 48/5.000, 5 KVA, 48 Vcc. Senoidal	9	1.865,00	16.785,00
Total neto			210.649,00
I.V.A. 18 %			37.916,82
TOTAL			248.565,82

NOTAS

Los acumuladores se conectarían en una configuración 24s/8p, con la que formaría un sistema de acumulación de 24.000 Ah/48 Vcc.

Para absorber los picos de arranque de la bomba es necesario que el sistema de inversores tenga una potencia nominal superior. Por este motivo es necesario utilizar 9 inversores de 5 KVA para llegar a una potencia total de 45 KVA. Éstos se configurarían para salida trifásica.

2.5. Comparativa y plazo de amortización

Potencia de la bomba	30 kW
Funcionamiento diario	8 h
Energía diaria	240 kWh/día
Días al año funcionando	250 días/año
Consumo anual energía	60.000 kWh/año
Precio de la energía	0,17 €/kWh (no incluye IVA)
Coste anual	10.200 €

AMORTIZACIÓN	
Ahorro anual	10.200 €
Coste total sistema solar	235.649 €
Subvención Comunidad de Madrid (*)	87.400 €
Presupuesto con subvención	148.249 €
Plazo de retorno aprox. de la inversión	14 años

NOTAS

(*) En la Comunidad de Madrid está abierto el plazo del Plan de Impulso a las Energías Renovables que tiene como objeto promocionar la instalación de sistemas que utilicen fuentes de energías renovables. Para los sistemas de energía solar fotovoltaica aislada, la cuantía de los incentivos sería de 2 €/Wp para las instalaciones con acumulación de potencia mayor de 5 kWp, hasta un máximo del 40 % de los costes elegibles. En este caso la subvención sería de 2 x 230 x 190 W = 87.400 €.

Resumiendo el plazo **de amortización está entorno a los 14 años con subvención**. Este plazo será muy similar si el sistema, por ejemplo, en vez de ser para una bomba es para 9 bombas (considerando la zona de riego para los 18 hoyos). Esto se traduciría en un coste 9 veces mayor, aproximadamente, y un ahorro también nueve veces mayor, pero la relación inversión vs. ahorro se mantendría.

Llegados a este punto, vemos interesante la opción de autoconsumo. No hay problema en que ellos consuman durante la noche y el sistema fotovoltaico produzca durante el día. En los sistemas de autoconsumo los contadores van añadiendo o quitando kWh en función de si la energía entra o sale.

Actualmente estamos a la espera de que aprueben la normativa de balance neto.

Cuando aprueben la normativa de balance neto, estos sistemas se amortizarán, aproximadamente en un plazo de 9-10 años.

¿En qué consiste el autoconsumo?

Con la entrada en vigor del Real Decreto 1.699/2011, se abría el abanico de productos fotovoltaicos para conexión a red.

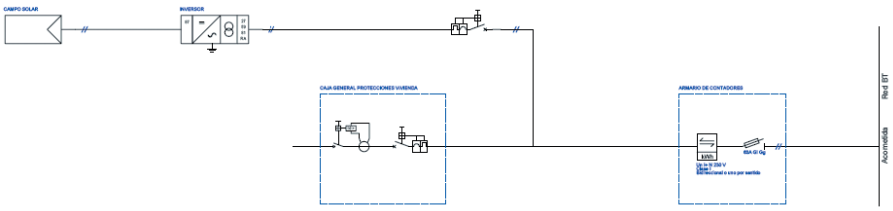
A nivel técnico no se ha producido ningún cambio respecto a las ins-

talaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica, pero se introduce el concepto de "autoconsumo". En la práctica, la única diferencia es conceptual, ya que lo único que ocurre es que se cambia el punto en el que la instalación se conectaba a la red eléctrica.

De esta forma, la energía eléctrica generada por nuestro sistema fotovoltaico que no se consuma será vertida a la red eléctrica y facturada a la compañía eléctrica (debido a la moratoria de las primas, esta parte se facturaría al precio medio del mercado de la electricidad).

Antes la instalación vertía directamente a la red eléctrica, después de pasar por su contador (bidireccional o dos contadores) y era "obligatorio" vender toda la energía producida.

Con el sistema de "autoconsumo", tal y como se muestra en el esquema unifilar, la salida de la instalación fotovoltaica se conecta después del contador de consumo, siendo necesario añadir un contador para la energía excedente, que se vertirá a la red o cambiar el existente por uno bidireccional.



Además, el Real Decreto introduce la "Tramitación Abreviada", que reduce drásticamente la tramitación administrativa de las instalaciones de una potencia nominal inferior a 10 kW conectadas a la red de distribución (como hasta ahora) o conectadas a una red interna que cuente con un contrato de suministro de una potencia mayor que la de la instalación, es decir, autoconsumo. En estos casos se reducen los trámites administrativos ante la compañía eléctrica y elimina el trámite de la Preasignación, incluyendo los avales.

Para el cálculo de la rentabilidad económica, tendrá su origen en el ahorro conseguido. Es decir, esta parte será la que se ahorre del

consumo habitual y su equivalente económico resultará de aplicar el precio de la electricidad.

Todo lo anterior sería el resumen de la situación actual de los sistemas de "autoconsumo". Como alternativa, en este momento estamos pendientes de la aprobación del Real Decreto por parte del Gobierno (la CNE ya emitió su informe), de la legislación de "balance neto", cuya fecha de entrada en vigor parece cercana.

Según los borradores que hay en circulación, a nivel técnico estas instalaciones tendrán las mismas condiciones que las de autoconsumo. La diferencia se encuentra en que el excedente de energía no será facturado, sino que será "prestado" a la red de distribución para consumirlo posteriormente.

En resumen, teniendo red eléctrica, podría resultar más interesante para ahorrar energía instalar un sistema conectado a red que les ahorre energía (autoconsumo) que instalar un sistema aislado (con baterías, que encarecerían el precio de la instalación).

No obstante, al precio exponencialmente creciente que tienen los combustibles fósiles y en el caso nuestro práctico la electricidad, uniéndolo al precio decreciente de los sistemas de energías renovables (sistema solar fotovoltaico en el caso práctico que hemos presentado), hace que cada vez sean más rentables y competitivos desde el punto de vista económico para su uso y aplicación en campos de golf u otras zonas verdes. Los sistemas de riego con energías renovables además de proporcionarnos un ahorro económico de la energía que sustituyen, no emiten carbono a la atmósfera por ser energías limpias, silenciosas y protegen el medio ambiente. Son sistemas además con una vida útil larga, en el caso de los módulos solares fotovoltaicos más de 40 años. A todo esto hay que sumarle que vamos hacia una concienciación en nuestra sociedad cada vez mayor sobre el ahorro y eficiencia energéticos y el uso de energías renovables limpias inagotables que sustituyan a las convencionales contaminantes limitadas. Es por todo ello por lo que hay un gran futuro de implementación de estos sistemas renovables en zonas verdes y campos de golf y en esta guía apostamos por ello.

10 MANTENIMIENTO Y REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

1. PRÁCTICAS Y LABORES EN EL MANTENIMIENTO

Una vez analizados en los capítulos anteriores todos los factores que afectan al ahorro y a la eficiencia energética de una instalación de riego, describimos a continuación las actuaciones que será necesario realizar para el adecuado mantenimiento de la instalación, aspecto clave para que la instalación siga siendo eficiente en el uso del agua y de la energía durante toda su vida útil.

2. REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE IMPULSIÓN

Los sistemas de impulsión han sido descritos en el Capítulo 2 de esta guía.

Para su correcto funcionamiento será necesario realizar las siguientes labores de mantenimiento:

- Se comprobará periódicamente que la presión de trabajo del sistema sea la correcta.
- Se comprobará el correcto funcionamiento de los autómatas, de modo que haya alternancia entre las bombas, para que todas, a lo largo del tiempo, trabajen las mismas horas.
- Se revisará el correcto funcionamiento de variadores de frecuencia y arrancadores progresivos.
- Se revisarán las instalaciones eléctricas, para comprobar que no existan condensaciones que puedan dañar el sistema.
- Se revisará la señal y lectura de los sensores instalados en el bombeo.

- Se recomienda la aplicación periódica de lubricantes en motores y bombas, según recomendaciones del fabricante, para prolongar la vida útil del sistema.

3. REVISIÓN DE BATERÍAS DE FILTRACIÓN

Las baterías de filtración han sido descritas en el Capítulo 3 de esta guía.

Para su correcto funcionamiento será necesario realizar las siguientes labores de mantenimiento:

- Las pérdidas de carga entre la salida y la entrada de los filtros, ayudan a determinar cuando un filtro está sucio. Un filtro limpio, debe generar unas pérdidas de carga entre 1 y 2 metros de columna de agua.
- El retrolavado de los filtros deberá estar automatizado, a través de válvulas de retrolavado, hidráulicas o eléctricas, activándose cuando la caída de presión supere los cinco metros. Es necesario comprobar el funcionamiento de modo manual cada quince días, para comprobar no sólo que abren y cierran el paso del agua como corresponde, sino que lo hagan en el tiempo determinado.
- Se hará un control visual de forma periódica de los filtros para comprobar la ausencia de pérdidas de agua. Por lo general, la parte externa del cuerpo de los filtros está provista de juntas para evitar fugas. Una vez se cierren los filtros, debe comprobarse que dicha junta está correctamente instalada.
- En el caso de filtros autolimpiantes, aunque su estado de limpieza siempre será mejor que en los filtros manuales, dos veces al año o más, y según la calidad de las aguas, deberá verificarse la ausencia de residuos adheridos al filtro, realizando una limpieza manual de cada filtro. En cualquier sistema de filtración, se extraerán el elemento filtrante (anilla o malla), para sumergirlo en un recipiente con ácido o hipoclorito de sodio (lejía), para disolver las sedimentaciones o la biocapa existente respectivamente (ver apartado 5. Limpieza interna de la instalación en este capítulo). En caso de no tener éstos productos, se lavarán con agua a presión. En el caso de filtros de arena, cuando hayan perdido su eficacia, se recomienda cambiar parcial o totalmente la arena.

- En el caso de filtros manuales, lo anteriormente mencionado deberá realizarse mínimo una vez cada 15 o 30 días, en función de la calidad del agua de origen.

4. REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

Los sistemas de riego han sido descritos en el Capítulo 4 de esta guía.

Incluiremos en este punto todo el sistema de riego que va desde las electroválvulas, hasta el emisor final del riego aéreo, superficial o subirrigación.

Para su correcto funcionamiento será necesario realizar las siguientes labores de mantenimiento que se describen a continuación según el sistema de riego empleado.

4.1. En los sistemas de aspersión y difusión

- Se revisará de forma visual todos los días el aspecto de la superficie del terreno, la forma de pulverización y el alcance del chorro de agua, que indicará si el sistema funciona correctamente y si existen obstrucciones en las boquillas o en los filtros del emisor.
- Se revisarán mensualmente las boquillas de los aspersores. Debe comprobarse mediante inspección visual que no presentan suciedad general, corrosión, o incrustaciones. La pulverización debe ser homogénea.
- Se revisarán mensualmente los filtros de los aspersores para comprobar que no se encuentren obstruidos. Si existe filtro de protección general, deberá realizarse el mismo mantenimiento especificado en los equipos de filtración.

4.2. En los sistemas de riego por goteo

- Se revisará de modo visual todos los días, las zonas que hayan regado la noche anterior para garantizar que no hay averías, roturas o haya ocurrido cualquier problema durante el riego. Si ha de repararse, se hará siempre con materiales de las mismas características técnicas.

- Se revisará de modo visual el funcionamiento de la ventosa ligada a la malla de goteo, garantizando que es capaz de expulsar el aire correctamente. En caso de no ser así, se comprobará que no se encuentra obturada ni dañada, pasando a su reposición en caso necesario.
- Se revisará periódicamente la apertura y cierre de la válvula de descarga automática, en la apertura y cierre del sector. En caso de no funcionar correctamente, se comprobará que no se encuentre obturada ni dañada, pasando a su reposición en caso necesario.
- Se revisará periódicamente la válvula de descarga de apertura manual, para comprobar que no se encuentra obturada y que realiza su función correctamente.
- En caso de rotura o avería de la tubería de goteo, se repondrá la zona dañada, con material de las mismas características técnicas que el instalado, y se realizará un lavado manual de la instalación, para expulsar los restos de tierra o arena que hayan podido entrar en las tuberías tras la rotura.

5. LIMPIEZA INTERNA DE LA INSTALACIÓN

En los casos que no reguemos con agua potable, es muy posible que aunque tengamos un buen sistema de filtración, tanto residuos orgánicos como inorgánicos se queden adheridos o depositados a las paredes o en elementos singulares de la instalación, reduciendo sección útil y funcionamiento de los elementos, con mayor relevancia en riego por goteo y especialmente en el caso de subirrigación.

Para ello, es necesario de modo continuado, según la calidad del agua de origen, realizar una limpieza en la instalación inyectando en cabeza determinados productos para asegurar la limpieza. Los tratamientos recomendados son:

5.1. Tratamiento con ácido para disolver sedimentaciones.

Este tratamiento se realizará al menos tres veces al año, y tiene como fin diluir sedimentos calcáreos (carbonatos, hidróxidos, fosfatos, etc…) en el sistema de riego, pero no resuelve problemas de sedimentos orgánicos.

Antes del tratamiento con ácidos, es necesario lavar todos los tubos componentes del sistema. Los ácidos de uso industrial, tales como clorhídrico, nítrico y fosfórico son los adecuados para este fin. Estos ácidos se venden con distintos grados de concentración.

La concentración recomendada de ácido en el agua es la siguiente:

Concentración recomendada de ácido en el agua	Tipo de ácido	Concentración de ácido en mercado
0,6 %	Clorhídrico	33-35 %
0,6 %	Sulfúrico	65 %
0,6 %	Nítrico	60 %
0,6 %	Fosfórico	80 %

La duración de inyección de ácido en el sistema es de aproximadamente 15 minutos. Al finalizar, se deberá seguir regando al menos una hora para asegurar que todo el ácido inyectado ha salido por los emisores.

5.2. Tratamiento de cloración del sistema de riego por goteto y de las baterías de filtración

El cloro es un fuerte oxidante, y como tal, útil para impedir el depósito de residuos orgánicos, limpiar el sistema y descomponer las bacterias.

En mercado existen diversas fuentes de cloro activo como son el hipoclorito de sodio (lejía), hipoclorito de calcio (cloro sólido). El más empleado es el hipoclorito de sodio.

Se podrá hacer de modo continuo, o de modo intermitente, dos veces al año durante los ciclos de riego.

Debido a que la concentración de cloro residual en el agua del riego es inversamente proporcional al tiempo y a la distancia, deberá estudiarse correctamente el modo de distribución a lo largo de la red.

Servirá también este tratamiento para el lavado de las anillas de los filtros, dos veces al año, inyectándolo dentro de la batería de filtras, y limpiando y vaciando a las 12 horas de su inyección.

La concentración de cloro después de la batería de filtración no debe ser menor que 1-2 ppm en cloración continua y el triple en cloración intermitente.

Objetivo de la cloración	Método de aplicación	Concentración requerida en ppm	
		Punto de inyección	Fin de línea
Prevenir sedimentación	Continuo	3-5	+1
	Intermitente	10	+3
Limpiar sistema	Continuo	5-10	+3
	Intermitente	15	+5

6. REVISIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

Los elementos de supervisión y control han sido descritos en el Capítulo 6 de esta guía.

Es conveniente, para todos los elementos de control manual o automático de la red primaria (válvulas de compuerta, desagües, válvulas hidráulicas, ventosas,...), realizar un mantenimiento preventivo a fin de garantizar su perfecto funcionamiento.

6.1. Revisión de válvulas de compuerta

- Se comprobará periódicamente el correcto funcionamiento de las válvulas cerrando y abriendo las mismas. De este modo, comprobaremos que realizan perfectamente su función, y evitaremos que puedan estar atascadas debido a sedimentaciones.
- Se cerrarán también periódicamente, para asegurar su estanqueidad.
- Se engrasará toda la tornillería y revisarán todas las juntas, por lo menos, una vez al año.

6.2. Revisión de válvulas hidráhulicas

- Se comprobará de manera visual y periódica el correcto funcionamiento como válvula maestra, generando artificialmente las condiciones necesarias de su apertura o cierre controlado.

- En las válvulas hidráulicas comandadas por piloto, deberá comprobarse periódicamente que el agua circula libremente a través de ellos, desconectando los tubos de mando de sus conectores, y garantizando que realizan la función para la que ha sido instalada.
- Se deberá revisar la calibración de la válvula, como mínimo dos veces al año.

6.3. Revisión de ventosas

Las ventosas son un elemento importante para garantizar la eficiencia del riego y la eficiencia energética del sistema. Para ello, deberemos igualmente realizar una serie de labores de mantenimiento preventivo:

- Deberá comprobarse periódicamente y de manera visual su correcto funcionamiento, que se comprueba prestando atención al ruido que hace el aire al salir cuando se llena la tubería, o cuando se vacía.
- En algunos modelos, el aire sale por orificios muy pequeños que pueden tener sedimentaciones que los obstruyen, impidiendo realizar su función. Deberá comprobarse periódicamente en caso de detectar alguna anomalía.
- Dos veces al año se aplicará lubricante en las juntas para evitar que se resequen. También se protegerá la tornillería con una fina película de grasa que impida la oxidación y asegure el funcionamiento.

6.4. Revisión de contadores y trasductores de presión. Control de la red

Los contadores y trasductores (sensores de caudal y presión) son un elemento fundamental para poder conocer las condiciones reales de trabajo de la instalación. Cualquier error de lectura o interpretación de la información aportada, puede tener repercusiones en la no detección de averías, cortes de agua, funcionamiento a bajas presiones, que no garantiza la eficiencia del riego, etc.. Para ello tendremos que:

- Comprobar las pérdidas de agua en el contador.

- Se aplicará una vez al año lubricante en las juntas para evitar que se resequen.
- Revisar la calibración del contador. La normativa vigente establece los requerimientos de verificación.
- En el caso de contadores integrados en una central de riego, se comprobará que la lectura desde la central del riego es correcta verificando también una lectura visual en campo.
- Revisar la correcta señal eléctrica de los trasductores de presión, así como verificar en campo que la lectura desde la central de riego corresponde con la presión real de trabajo.

6.5. Revisión de sondas de ph y conductividad. Control de la calidad del agua

Las sondas de pH y conductividad, nos miden parámetros muy básicos de la calidad del agua, debiendo funcionar correctamente para evitar riegos en caso de que no se cumpla con unos parámetros mínimos de calidad. Para ello, se deberán también revisar y controlar su correcto funcionamiento y que las lecturas que dan son correctas.

- Se debe revisar la calibración de los distintos instrumentos de manera periódica, que generalmente estará a cargo del fabricante o de laboratorios especializados, para garantizar el correcto funcionamiento de los mismos. La normativa vigente establece los requerimientos de verificación.
- Se comprobará que las lecturas que proporcionan son correctas y dentro de unos parámetros normales, utilizando soluciones patrón de testeo en caso necesario.

7. REVISIÓN DEL SISTEMA CENTRALIZADO

Los sistema de centralización y automatización del riego han sido descrito es el capítulo 7 de esta guía.

Revisaremos en este apartado, el caso particular de un sistema centralizado completo (sistema centralizado monositio híbrido de decodificadores con satélites y estación meteorológica) . Cualquier sistema de riego no centralizado en un ordenador o en un programador,

debido a su reducida capacidad de gestión, nos limitaría mucho las acciones posibles a desarrollar para mantener en buen estado el sistema.

¿Qué es un sistema centralizado monositio híbrido de decodificadores con satélite y estación meteorológica?

— Sistema centralizado: Todo comunica con un ordenador central

— Monositio: Todos los elementos se comunican vía cable hasta la central

— Híbrido: Dos líneas independientes, una de comunicación con programadores y otra de comunicación con sensores (caudal, presión y válvula maestra)

— Decodificadores: La comunicación entre el programador y la válvula es a través de un decodificador, y no por cableado directo al solenoide

— Satélites. Programadores de campo permiten programar el riego de modo autónomo (en campo), sin utilizar la central. Se activa en caso de avería en la central.

— Estación meteorológica. Integra sus datos en la programación del riego, para regar a la demanda del clima,

Entre las labores de control, conservación y mantenimiento cabe destacar las siguientes:

- Para garantizar la comunicación eléctrica, es absolutamente necesario tener tomas de tierra tanto para el sistema centralizado, como para los programadores de campo, e instalar sistemas de protección anti-descargas para evitar daños en el sistema, generalmente por tormentas eléctricas, que pueden anular el funcionamiento de los equipos. La comprobación de las tomas de tierra se debe realizar, por lo menos, 1 vez al año.
- Comprobar el funcionamiento del cableado y elementos de comunicación con las electroválvulas (solenoides o decodificadores), con pruebas específicas desde la unidad central o desde los propios programadores de campo.
- Comprobar el consumo eléctrico del cable que alimenta los decodificadores o directamente las electroválvulas, consumo que debe de ser conocido en base al número y modelo de los dispositivos

instalados. Si la intensidad medida aumentase en demasía, estaríamos ante una situación de cortocircuito. Si la medida disminuyese, estaríamos ante un caso de rotura del cable de comunicación. Es importante comprobar la intensidad de la línea por lo menos una vez al mes.

- Comprobar el estado de los empalmes eléctricos y los cables en las arquetas por lo menos 1 vez al año, reemplazando los empalmes en caso de que estén en mal estado, y saneando el cable en caso de que el aislamiento este en mal estado.
- Comprobar la resistencia eléctrica de los solenoides una vez al año. Una disminución de la resistencia generará un exceso de intensidad en el cable de comunicación y en la unidad central. Un aumento de la resistencia puede causar que el solenoide no abra.
- Comprobar que los datos que aporta la estación meteorológica están dentro de parámetros lógicos. Un problema, por ejemplo, de un nido de abejas en el sensor de humedad o temperatura, podría alterar los datos recogidos e impedir el riego de forma correcta.

11 AUDITORIAS ENERGÉTICAS EN ZONAS VERDES Y CAMPOS DEPORTIVOS

1. PROTOCOLO A SEGUIR EN UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA DE ZONAS VERDES Y CAMPOS DEPORTIVOS

Una auditoría consiste en un examen técnico, objetivo e independiente, a través del cual se obtiene un informe con conclusiones y recomendaciones, que van a permitir conocer el estado de las instalaciones y sobre todo planificar en el tiempo las actuaciones necesarias para conseguir el ahorro y la eficiencia en el uso del agua y de la energía, y el ahorro económico que supone hacer un uso eficiente de estos recursos

En las auditorías energéticas de zonas verdes y campos deportivos, se incorpora el uso eficiente del agua como factor energético, por eso, este tipo de auditorías se denominan también auditorías de hidroeficiencia energética.

A continuación proponemos un protocolo técnico para la realización de auditorías energética en zonas verdes y campos deportivos:

2. EXAMEN TÉCNICO DE LA INSTALACIÓN

En esta primera fase se solicitará al gestor o gerente de la zona verde/campo deportivo, la documentación necesaria para poder llevar a cabo el examen técnico de la instalación.

Si el gestor o gerente de la instalación no puede aportar la información requerida, será necesario realizar un estudio más exhaustivo en campo.

2.1. Si la instalación se encuentra en fase de proyecto: Auditoría energética en fase de proyecto

La documentación técnica que deberá solicitarse al gestor o gerente de la zona verdes /campo deportivo será la siguiente:

- Planos de la instalación, que incluya trazado, diámetros y topografía del terreno.
- Proyecto de la red primaria de riego, que debe incluir anejo de cálculo y características técnicas de los materiales empleados.
- Proyecto de la red secundaria de riego, cálculos hidráulicos y estudio de necesidades hídricas.
- Descripción y características técnicas del sistema de impulsión, incluyendo número de bombas y configuración, sistemas de filtración empleados con grado de filtración, y cualquier elemento de control instalado.
- Pliego de condiciones o normativa aplicada para la ejecución del proyecto.
- Análisis de suelo y de agua.
- Dotaciones máximas de agua autorizada, mensual y anual.
- Planos de drenajes.
- Planos de plantación o tablas de superficie por tipologías de plantación.

Los datos a revisar en en fase de proyecto, para garantizar que la instalación hará un uso eficiente del agua y de la energía, serán los siguientes:

1. Los diámetros y cálculos hidráulicos de la red, para conocer si el dimensionamiento es correcto y para descartar problemas debidos a un mal proyecto, así como el estudio de pérdidas de carga, para confirmar que el dimensionamiento y trazado es el más adecuado.
2. Los elementos de control y supervisión existentes en la instalación, para confirmar que son los adecuados.
3. Las especies cultivadas y el tipo de suelo existente, relacionándolo con el sistema de riego y valorar si es el más adecuado para las especies a regar.

4. El sistema de riego empleado y la eficiencia del riego según diseño.
5. El sistema de programación del riego propuesto.

2.2. Instalación en fase de conservación: Auditoría energética en fase de conservación

Si la instalación se encuentra operativa o en conservación, la información que deberemos solicitar al gestor o gerente de la zona verde/campo deportivo será la misma que antes hemos indicado para una auditoría energética de una instalación en fase de proyecto más:

— Las facturas eléctricas del sistema de impulsión de los últimos doce meses.

— Condiciones de trabajo del sistema de bombeo (presiones y caudales) y del sistema de filtración (número de lavados diarios y tiempos de lavado).

— Las facturas de consumo de agua del sistema de riego desde el inicio de la explotación.

— Número de sectores, horas de riego y caudales punta de cada sector.

— Programación y tiempos de riego aplicados en los últimos doce meses. En caso de riego por ET, también coeficientes de cultivo aplicados e histórico anual de la estación meteorológica.

— Datos de la configuración y criterios aplicados en el gestor de caudal, si existe gestor de caudal en la central de riego.

— Datos históricos de todos los sensores instalados (pH, conductividad, presiones del sistema, sondas de humedad, etc.)

— Pliego de condiciones de mantenimiento y revisión del cumplimiento de este pliego.

— Histórico de actuaciones que están siendo realizadas para fomentar el ahorro y la eficiencia en el uso del agua y la energía.

— Histórico de labores de mantenimiento de la red de riego.

— Normativa aplicada en el mantenimiento de la instalación.

También será necesario realizar un examen técnico de la instalación en campo para determinar el correcto funcionamiento de la instalación.

En campo se revisarán los siguientes puntos:

1. Funcionamiento de los diferentes elementos de la instalación.

Se realizarán las siguientes comprobaciones:

- Se comprobará la presión de trabajo de la instalación en diferentes puntos.
- En caso de no existir ni contadores ni trasductores de presión, se tomará la lectura de caudal a través de contadores no intrusivos, y de presión a través de presostatos, para conocer las condiciones reales de la instalación.
- Se comprobará que tanto emisores, filtros u otros elementos no están obstruidos ni colmatados.
- Se comprobará la tensión de trabajo de las líneas de comunicación, necesaria para la automatización del sistema.
- Se revisarán el correcto funcionamiento y calibración de los sensores instalados.
- Se revisará en campo el estado de humedad de las zonas más conflictivas (puntos más altos, puntos más alejados, zonas más expuestas o sombreadas, zonas con pendientes, etc.).
- En caso de que no exista un control de la calidad del agua y del suelo, se realizarán los análisis necesarios para determinar si la calidad del agua puede estar afectando al desarrollo de las plantaciones.

3. ELABORACIÓN DE INFORME DE SITUACIÓN DEL PROYECTO O DE LA INSTALACIÓN

En base a los datos obtenidos en el examen técnico, tanto del proyecto como del funcionamiento de la instalación, se elaborará un infor-

me donde se recogerán todos los datos relevantes de la instalación que influyen en el ahorro y la eficiencia energética.

4. PROPUESTA DE ACTUACIONES PARA EL AHORRO Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Las actuaciones para el ahorro y la mejora de la eficiencia energética de la instalación, se propondrán agrupadas según se refieran a:

1. Mejora de la eficiencia energética por mejora en las instalaciones o equipos.

Como se ha comentado a lo largo de los diferentes capítulos de esta guía, la incorporación o sustitución de determinado elementos de la instalación pueden suponer un ahorro directo de agua y energía.

2. Mejora de la eficiencia por cambio de hábitos.

Serían todas las actuaciones que tienen que ver con la gestión del riego y el mantenimiento de las instalaciones.

3. Mejora de la eficiencia por la gestión de las tarifas eléctricas.

Serían las actuaciones que tienen que ver con la optimización de la tarifa eléctrica contratada para la instalación.

Una vez que se disponga de toda la información técnica, deberá realizarse la revisión de tarifas en base a las condiciones reales de trabajo de la instalación.

Es importante, que a la hora de proponer las actuaciones se indique la inversión necesaria, el porcentaje de ahorro que se va a conseguir y el periodo de amortización de la inversión, para que el gestor o gerente de la zona verde/campos deportivo poder establecer un orden de prioridades y valorar su rentabilidad en base al ahorro que puede conseguirse.

Para terminar, queremos destacar que, para la realización de auditorías energéticas en zonas verdes y campos deportivos, será necesario contar con especialistas en este tipo de instalaciones y conocer tanto su funcionamiento como las necesidades de la aplicación, en este

caso de las zonas verdes y de los campos deportivos, para lo que se recomienda contactar con empresas o profesionales especialistas en este tipo de instalaciones que además vayan a tener en cuenta el factor "agua" como factor energético, por ser éste el principal factor a tener en cuenta en este tipo de auditorías energéticas.

12 SELECCIÓN DE PLANTAS DE BAJAS NECESIDADES HÍDRICAS: XEROJARDINERÍA

1. ¿QUÉ ES LA XEROJARDINERÍA?

El prefijo "xero" significa "seco" en griego. Podemos definir xerojardinería como aquella jardinería basada en criterios de uso eficiente del agua en el diseño y mantenimiento de zonas verdes, públicas y privadas.

La elección de las especies es fundamental, ya que va a definir de forma permanente las características de la zona verde y de su entorno.

Para la elección de las especies será necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- Vegetación del entorno y especies mejor adaptadas al clima.
- Orientación y exposición. Microclimas.
- Tipo de agua y calidad del suelo.
- Dotación máxima de agua autorizada.
- Elementos singulares integrados en la zona verde (fuentes, glorietas, medianas, juegos infantiles, edificios, etc.)
- Uso previsto de la zona verde.
- Presupuesto previsto para la conservación de la zona verde.

A partir de estos factores, se elegirán las especies teniendo en cuenta tanto su valor ornamental, su adaptación al medio, su bajo mantenimiento y sus necesidades hídricas.

2. NECESIDADES HÍDRICAS DE ESPECIES GENERALMENTE EMPLEADAS EN ZONAS VERDES DE LA COMUNIDAD DE MADRID

En la Tabla 1 se recogen los géneros de plantas utilizadas en la Comunidad de Madrid de necesidades hídricas bajas y medias.

Esta tabla pretende ser una orientación para el gestor de la zonas verdes, de tal forma que pueda agrupar especies por sus necesidades hídricas.

Hay que tener en cuenta que la tabla recoge necesidades hídricas por género sin entrar en la especie o variedad. Por eso, algunos géneros aparecen marcados en diferentes grupos.

Por tanto, se recomienda consultar en cada caso las necesidades hídricas de la especie y variedad a cultivar.

Tabla 1. Géneros de plantas en la Comunidad de Madrid y sus necesidades hídricas.

GÉNERO	BAJAS NECESIDADES (Kc=0,1 A 0,3)	MEDIAS NECESIDADES (Kc=0,4 A 0,6)
Abelia		x
Acacia	x	x
Acanthus		x
Acer	x	x
Achillea	x	
Acorus		
Adiantum		
Aesculus		x
Agapanthus		x
Ailanthus	x	
Ajuga		x
Albizia	x	
Alnus	x	x
Aloysia	x	
Amaryllis	x	
Ampelopsis		x
Aptenia	x	
Araucaria		x
Arbutus	x	
Arctostaphyllos	x	
Armeria		x

Artemisia	x	
Arundo		x
Asplenium	x	
Aster		x
Atriplex	x	
Aucuba		x
Begonia		x
Berberis	x	x
Bergenia		x
Betula		x
Broussonetia	x	
Buddleja	x	
Buxus		x
Caesalpinea	x	
Calamagrostis	x	
Callistemon		x
Calocedrus		x
Camelia		x
Carex	x	
Carpinus		x
Carpobrotus		x
Catalpa	x	x
Ceanothus	x	
Cedrus		x
Celtis	x	
Centaurea	x	
Cerastium	x	x
Cerastostigma		x
Ceratonia	x	
Cercis		x
Cestrum		x
Chamaecyparis		x
Choisya		x
Cistus	x	
Clematis		x
Clivia		x
Convolvulus	x	
Coprosma		x
Cornus		x
Cortaderia	x	

Corylus		x
Cotinus	x	x
Cotoneaster	x	
Crataegus	x	x
Crocosmia	x	
Cryptomeria		
Cupressocyparis	x	x
Cupressus	x	
Cytisus	x	
Delosperma		x
Delphinium		x
Deutzia		x
Dianthus		x
Dietes	x	
Digitalis	x	x
Elaeagnus	x	
Erica	x	x
Erigeron		x
Eryobotrya	x	x
Escallonia	x	x
Eucalyptus	x	x
Euonymous		x
Euphorbia	x	
Fatsia		x
Festuca	x	
Forsythia	x	
Fraxinus	x	x
Fuchsia		x
Gaultheria		x
Gaura	x	x
Genista		x
Geranium		x
Geum		x
Ginkgo		x
Gleditsia	x	
Grevillea	x	
Hebe		x
Hedera		x
Hemerocallis	x	
Hibiscus		x

Hosta		
Hydrangea		
Hypericum	x	x
Iberis	x	
Ilex		x
Iris	x	
Jasminun	x	x
Juglans		x
Juniperus	x	
Kerria		x
Kniphofia	x	x
Koelreuteria		x
Kolkwitzia		x
Laburnum		x
Lagerstroemia	x	x
Lantana	x	
Laurus	x	
Lavandula	x	
Ligustrum	x	x
Liquidambar		x
Liriodendron		
Liriope		x
Lobelia		x
Lonicera	x	x
Lupinus	x	
Magnolia		x
Mahonia	x	x
Malus		x
Melia	x	
Melissa		x
Mentha		x
Miscanthus	x	
Morus	x	x
Mucronatum		x
Myrtus	x	
Nandina	x	x
Narcissus	x	
Narsella	x	
Nerium	x	
Olea	x	

Ophiopogon		x
Origanum		x
Osmanthus		x
Pachysandra		x
Parthenocissus		x
Passiflora		x
Paulownia		x
Pelargonium		x
Pennisetum	x	
Perovskia	x	
Philadelphus		x
Phlomis	x	
Phormium	x	x
Photinia		x
Phyllostachys		x
Picea		x
Pieris		x
Pinus	x	
Pittoposporum		x
Platanus		x
Populus		x
Potentilla		x
Prunus	x	x
Punica	x	
Pyracantha	x	
Pyrus		x
Quercus	x	x
Raphiolepis	x	
Retama	x	
Rhamnus	x	
Rhododendron		x
Rhus	x	
Ribes	x	
Robinia	x	
Rosa	x	x
Rosmarinus	x	
Salix		x
Salvia	x	
Santolina	x	
Saxifraga		x

Sedum	x	
Senecio	x	
Sequoia		x
Skimmia		x
Sophora	x	
Sorbus		x
Spartium	x	
Spiraea		x
Stachys	x	
Stipa	x	
Symphoricarpus	x	x
Syringa	x	x
Tagetes	x	
Tamarix	x	
Taxus		x
Teucrium	x	
Thuja		x
Thymus	x	
Tilia		x
Trachelospermum		x
Tulbaghia	x	
Ulmus	x	
Verbena	x	
Veronica		x
Viburnum	x	x
Vinca	x	x
Vitex	x	
Wisteria		x
Zantedeschia		x
Zelkova		x
Zoysia	x	x

Fuente: A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California. The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III. University of California Cooperative Extension California Department of Water Resources. August 2000 y Audit Irrigation.

ANEJOS

En esta última parte de la guía, aparecen cinco capítulos (denominados Anejos) escritos por fabricantes, o por sus distribuidores en España, líderes en el sector del riego, que aportan información sobre nuevas tecnologías existentes, y experiencias y ensayos realizados siempre en relación a los diferentes capítulos de la guía.

ANEJO 1: BOMBAS GRUNDFOS ESPAÑA. AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN SISTEMAS DE IMPULSIÓN.

Departamento técnico Bombas Grundfos España
Bombas Grundfos España
www.grundfos.es

1. AUDITORÍAS ENERGÉTICAS. ¿PORQUÉ REALIZARLAS?

La auditoría energética consiste en realizar una **evaluación real del rendimiento de un sistema de bombeo** y una comparación con un sistema sustitutivo propuesto. Se **cuantifica el consumo energético en relación a los parámetros hidráulicos** (presión y caudal) del sistema. Al mismo tiempo se **cuantifica el ahorro energético, ecológico y económico**.

Se lleva a cabo mediante la instalación de equipos de medición que registran los datos de forma continua durante un tiempo establecido en función de las características de la demanda en la instalación. Este tipo de auditorías permite entender mejor como se puede ahorrar dinero sustituyendo las bombas existentes por otras de mejor eficiencia energética que permitan amortizar la inversión en un tiempo razonable que puede estar en la mayoría de los casos entre los dos y tres años. El objetivo fundamental es reducir los costes y la emisión de contaminantes reduciendo el consumo de energía total del sistema de bombeo. Por último, desde el punto de vista medioambiental, la auditoría energética de bombas eleva la conciencia sobre la importancia del ahorro energético.

Para la realización de la auditoría se realizan medidas eléctricas e hidráulicas en el sistema de bombeo mediante equipos de medida apropiados como herramienta necesaria para conseguir resultados fiables. Estas medidas se tratan mediante un software especializado, obteniendo como resultado final el rendimiento real de las bombas evaluadas.

Pasaremos ahora a ver un ejemplo de un caso real de una auditoría energética.

2. AUDITORÍA ENERGÉTICA. CASO REAL.

El presente documento, presenta los resultados de una auditoría energética realizada en un circuito de agua de suministro industrial. Aun-

que la aplicación sea diferente a la de un riego de zonas verdes o campos de golf, los resultados obtenidos hacen referencia a la eficiencia del sistema de impulsión en base a su uso, independientemente de la aplicación.

Para ello, se realizó una auditoría tomando medidas eléctricas e hidráulicas en el citado circuito. Estas medidas se han tratado mediante un software especializado, obteniendo como resultado final el rendimiento de las bombas evaluadas.

En el procedimiento de prueba se han realizado las siguientes medidas:

- Medida de presión de descarga
- Medida de caudal del circuito
- Medida de tensión y consumo eléctrico

Estas medidas han aportado los suficientes datos para obtener unas curvas de consumo puntual, así como el rendimiento obtenido en los equipos analizados.

Medida de Presión de Descarga

En la medida de la presión de descarga se ha utilizado un sensor de presión relativa Danfoss MBS3000, que podemos ver en la Foto 1. Este sensor se ha conectado en la impulsión del circuito, y por tanto midiendo la presión de salida de las bombas.

Foto 1. Sensor de presión relativa Danfoss MBS 3000. Fuente: Danfoss

Se trata de un sensor con una precisión máxima de ±1 %. Su alimentación es de 9 a 32 V, y durante la prueba ha estado alimentado por una

fuente de alimentación con salida de 12 V. La salida que devuelve el sensor se refleja en una señal de 4 a 20 mA, siendo 4 mA (presión 0) y 20 mA (fondo de escala). En esta ocasión el sensor elegido ha sido, en función de la aplicación y de la presión de trabajo, de 0 a 10 bar. A continuación mostramos en la Tabla 2 el valor de la presión de trabajo en bares en función de la señal del sensor.

Tabla 1. Presión real en función de la intensidad recibida.

mA	Señal Sensor	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
bar	Presión	0,0	0,6	1,3	1,9	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	5,6	6,3	6,9	7,5	8,1	8,8	9,4	10,0

Fuente: Grundfos España

El sensor se alimenta por la misma línea por la que el sensor devuelve la medida en forma de corriente. Esta línea proviene directamente del registrador de datos, ubicado a unos 30 metros de distancia. La conexión se realiza mediante un cable de dos hilos, y previamente a la medida se comprobó la estabilidad de la misma.

Medida de Caudal del Circuito

Para realizar la medida de caudal del circuito se ha empleado un caudalímetro no intrusivo por ultrasonidos de la marca General Electric, modelo Parametrics PT878. Este caudalímetro está compuesto de unas cápsulas emisoras/receptoras de ultrasonidos, un soporte graduado para las citadas cápsulas, unos cables de conexión y una consola de control donde se recibe la lectura. Vemos aquí en la Foto 2, el contador y la consola.

Foto 2. Caudalímetro no intrusivo PT878. Fuente: General Electric

El caudalímetro, realmente la medida que realiza es de velocidad, bajo el principio siguiente:

Vemos en la Figura 1, el funcionamiento de un caudalímetro de ultrasonidos. La cápsula 1 realiza un envío de señal de ultrasonidos a la cápsula 2. Posteriormente la cápsula 2 realiza un envío de señal de ultrasonidos a la cápsula 1. Si existe alguna diferencia en el tiempo de recepción de ambas señales, implica que existe un caudal que está retrasando la transmisión de la señal. El equipo puede medir la velocidad de este caudal. Mediante la configuración inicial nosotros le indicamos cuales son las medidas de la tubería, por lo que el equipo puede realizar el cálculo del caudal real que circula en cada momento.

Hay algunos datos adicionales, como el grosor de la pared de la tubería, el grosor y material de la pintura, etc., que también incluimos en la configuración del sistema para obtener una medida de mayor precisión.

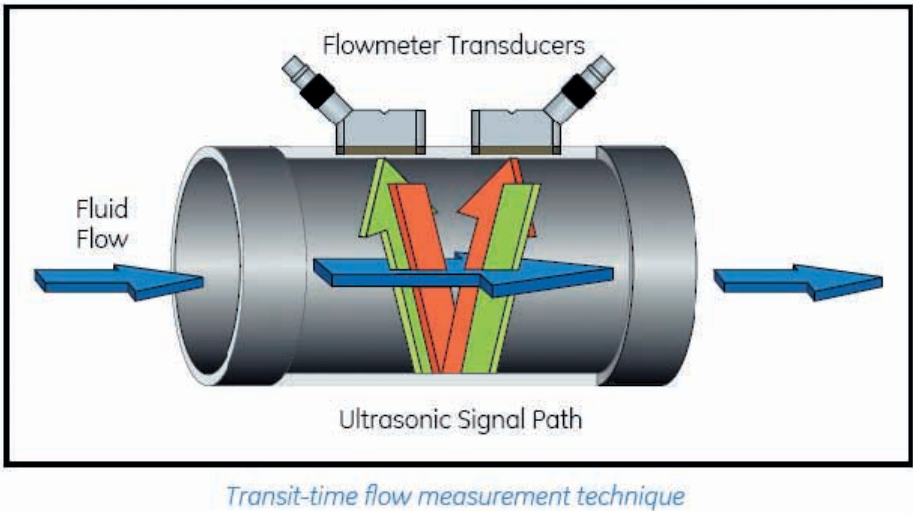


Figura 1. Funcionamiento de contador por ultrasonidos.
Fuente: General Electric

El caudalímetro nos proporciona una señal de salida de 4 a 20 mA proporcional a la lectura instantánea de caudal. Por razones técnicas, esta señal se transforma a una señal de frecuencia de pulsos con

un módulo adicional, para poder realizar la lectura del dato en el registrador.

Medida de Tensión y Consumo Eléctrico

Obviamente, en una auditoría energética uno de los parámetros a medir es la energía eléctrica. En este caso, el dato que realmente nos interesa es el consumo eléctrico. Para medir este dato, lo que hacemos es medir tanto la tensión como la corriente eléctrica.

Para realizar estas medidas utilizamos una unidad de supervisión Power Logic PM700 de la marca Schneider Electric, como vemos en la Foto 3. Esta unidad es capaz de realizar medidas de tensión y corriente, y de calcular el consumo eléctrico. Para ello se instala en paralelo con la alimentación de la bomba unas conexiones para medir la tensión, y también en cada una de las fases se instala una bobina (también conocida como pinza) para realizar la medida de corriente.

Se configura el sistema para obtener cada ciertos kWh un pulso, señal que se conecta igualmente al registrador.

Foto 3. Unidad de supervision eléctrica Power Logic PM700.
Fuente: Schneider Electric

Registro de Señales

Con todas las medidas anteriores, obtenemos un perfil de consumo eléctrico e hidráulico en la instalación en cada momento, pero este perfil no servirá de nada si no podemos almacenarlo y ver como evoluciona con el tiempo. Por esta razón uno de los componentes principales del sistema es un Registrador, como vemos en la Foto 4.

La función del registrador es, como su nombre indica, registrar los datos. El método de funcionamiento es acumulativo, es decir, se va a establecer un tiempo de muestra, y al finalizar este periodo vamos a registrar el valor acumulado. Es decir, vamos a ir sumando caudal, y potencia eléctrica durante este tiempo de muestra, y a la finalización del mismo vamos a registrar el total de caudal y potencia del periodo, así como la máxima presión obtenida.

El tiempo de registro se ha fijado en nuestro caso en 1 minuto, por lo que habrá registros donde tanto el caudal como el consumo sean cero por estar el equipo parado.

Foto 4. Registrador de datos Fuente: Grant Instruments

Con estos registros vamos a obtener un **perfil de carga utilizando 4 ó 5 valores de caudal o clases,** y vamos a determinar **cual ha sido el rendimiento medio en cada uno de esos caudales**, así como cual ha sido el **porcentaje de tiempo en que el equipo ha estado funcionando** en cada uno de ellos. Utilizando este método podríamos determinar, por ejemplo, que el equipo ha estado más tiempo funcionando al 30 % que al 80 % de caudal.

ÁMBITO DE LA PRUEBA

La prueba se ha realizado en la bomba nº 1 del circuito de Agua Industrial. Los datos se han tomado entre las 19:19 del día 19 de octubre de 2010 y las 12:24 del día 27 de octubre de 2010

Datos del Registro

— Número de datos recogidos: 11.105 (1.440 datos/día)

— Presión mínima/máxima: 22,70 m/47,50 m

— Caudal mínimo/máximo: 0 m³/H / 138 m³/h

— Caudal Anual: 256.621 m³

— Horas de Funcionamiento Anuales: 8.760 h

Datos de los equipos

Datos de circuito de bombeo actual:

Formado por 4 bombas horizontales de bancada de aspiración axial. La auditoría se ha realizado únicamente en una de las bombas por motivos técnicos, de las siguientes características según placa:

— Presión Nominal: 4,5 bar

— Caudal Nominal: 120 m³/h

— Potencia P2: 22 kW Trifásica

Los equipos de sustitución sugeridos son:

— Sistema de control automático Hydro-MPC 3 x CR90-3-2 Bomba vertical multicelular.

— Presión Nominal: 52,6 m

— Caudal Nominal: 90 m³/h

— Potencia P1: 22 kW Trifásica

(Todos los datos reflejados en el presente informe se refieren a una sola bomba)

(Para los cálculo/s económicos se ha contemplado un precio correspondiente a 1/3 del precio total. El precio resultante es de 6.981€.)

Definición de las diferentes clases

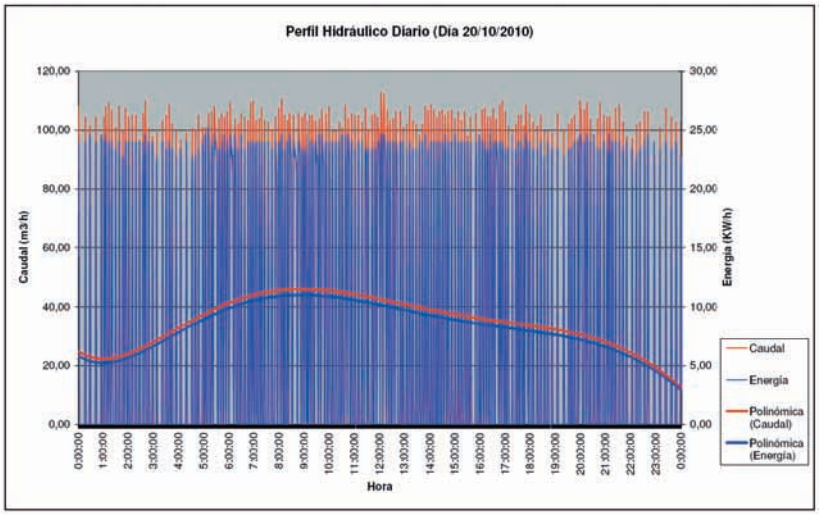
Para realizar el estudio energético, se dividen los variados caudales de la bomba en 5 grupos, llamados clases. Se indica en la Tabla 2 el centro de cada clase, así como las horas de trabajo en cada clase.

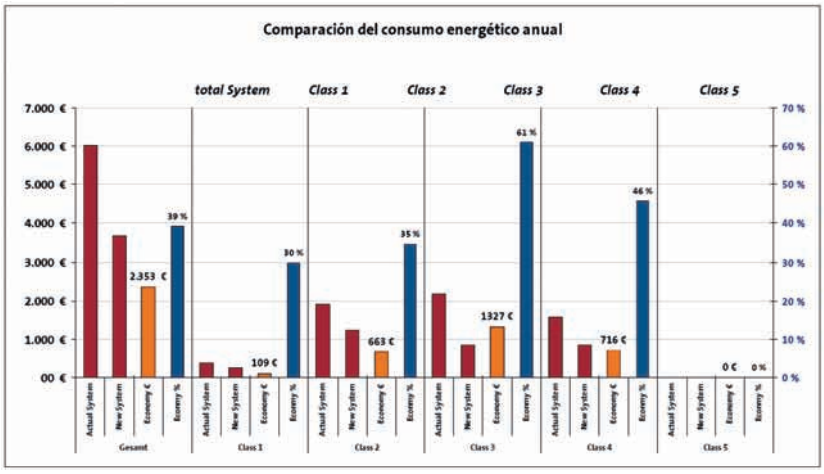
Clase	1	2	3	4	5
Caudal (m^3/h)	115	105	94	40	0

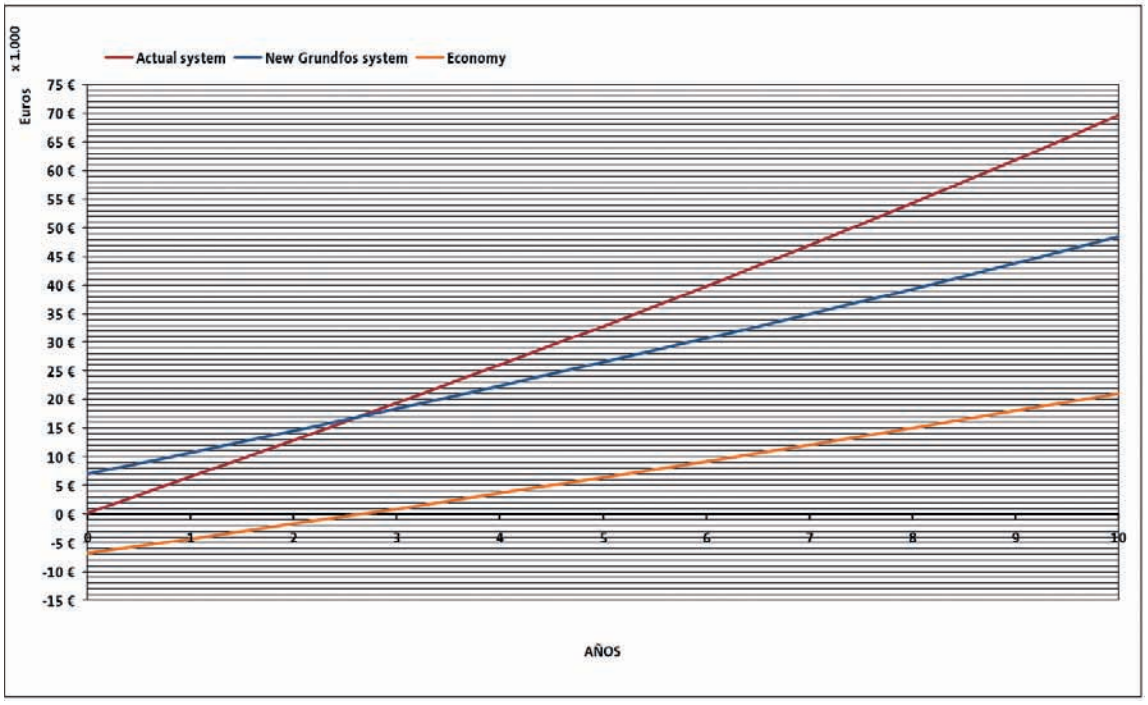
Horas por Clase		
	Caudal	Horas/Año
Clase 1	83%	147
Clase 2	76%	803
Clase 3	68%	973
Clase 4	29%	1.582
Clase 5	0%	5.256

Tabla 2 Definición de las diferentes clases. Fuente: Grundfos España

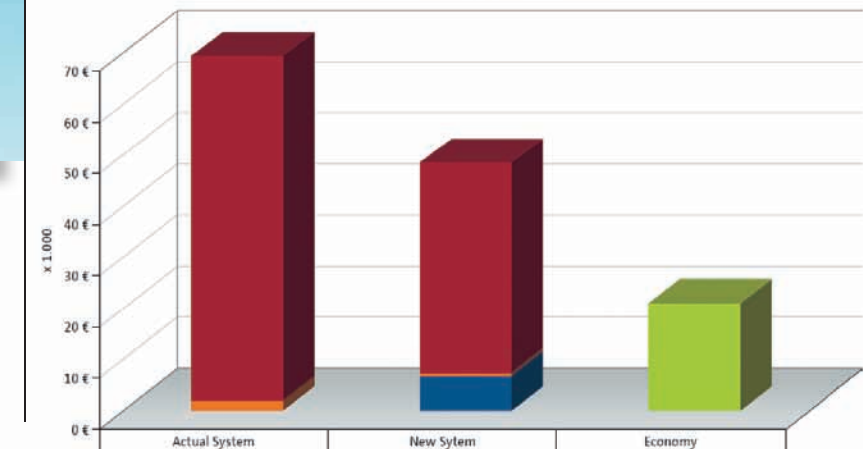
Resultados obtenidos




Comparación del consumo energético anual
total System
Class 1
Class 2
Class 3
Class 4
Class 5
7.000 €
6.000 €
5.000 €
4.000 €
3.000 €
2.000 €
1.000 €
00 €
70 %
60 %
50 %
40 %
30 %
20 %
10 %
0 %
2.353 €
39 %
109 €
30 %
663 €
35 %
1327 €
61 %
716 €
46 %
0 €
0 %
Actual System
New System
Economy €
Economy %
Gesamt
Class 1
Class 2
Class 3
Class 4
Class 5

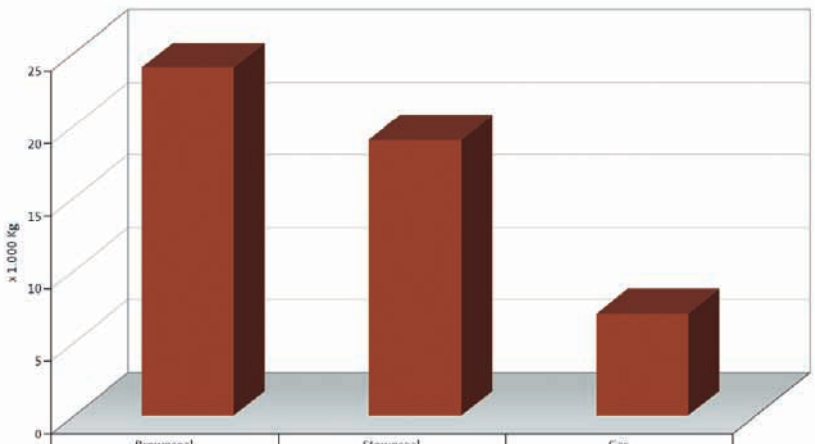

x 1.000
Euros
Actual system
New Grundfos system
Economy
75 €
70 €
65 €
60 €
55 €
50 €
45 €
40 €
35 €
30 €
25 €
20 €
15 €
10 €
5 €
0 €
-5 €
-10 €
-15 €
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
AÑOS

Ahorro comparando sistema nuevo y sistema actual



	Actual System	New Sytem	Economy
Economy			21.081 €
Energy costs	67.415 €	41.054 €	
Service	2.000 €	500 €	
Investition	0 €	6.981 €	

Ahorro equivalente CO2 Comparando Sistema Nuevo y Sistema Actual



	Browncoal	Stowncoal	Gas
Ahorro Equivalente Toneladas CO2	24	19	7

Conclusiones y recomendaciones

En función de las diferentes clases y rendimiento por clase obtenidos, Grundfos ha realizado un estudio sobre el rendimiento que se obtendría en caso de sustituir su sistema de bombeo por otro con un rendimiento mayor. Esta mejora de eficacia se obtiene por dos partes, la mejora en la eficacia de los motores y la mejora en la eficacia de la bomba.

Destacar que los actuales sistemas de velocidad variable permiten un trabajo en el punto que se necesite utilizando únicamente la energía necesaria para ello.

Acorde con sus datos de caudal y presión máximo, GRUNDFOS recomienda la sustitución de sus equipos por un sistema Hydro-MPC-F basado en 3 bombas CR90-3/2, bombas verticales prácticamente sin mantenimiento.

ANEJO 2: REGABER. SISTEMA DE FILTRACIÓN AUTOLIMPIANTE A BAJA PRESIÓN

D. José María de Frutos
Responsable Jardinería Zona Centro
Regaber
www.regaber.es

1. ELECCIÓN DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN MÁS ADECUADO

Todo instalador de riego e infraestructuras hidráulicas que se precie, alguna vez a lo largo de su carrera profesional se ha preguntado lo siguiente: ¿y para ***el tipo de instalación que tengo, qué filtro será el más adecuado?*** Pues bien, a esta pregunta vamos a tratar de darle respuesta con el siguiente cuadro, ver Figura 1, en el que entramos a comparar los diferentes sistemas de filtración más utilizados para el agua de riego de parques y jardines públicos, campos de golf, jardines privados, etc…

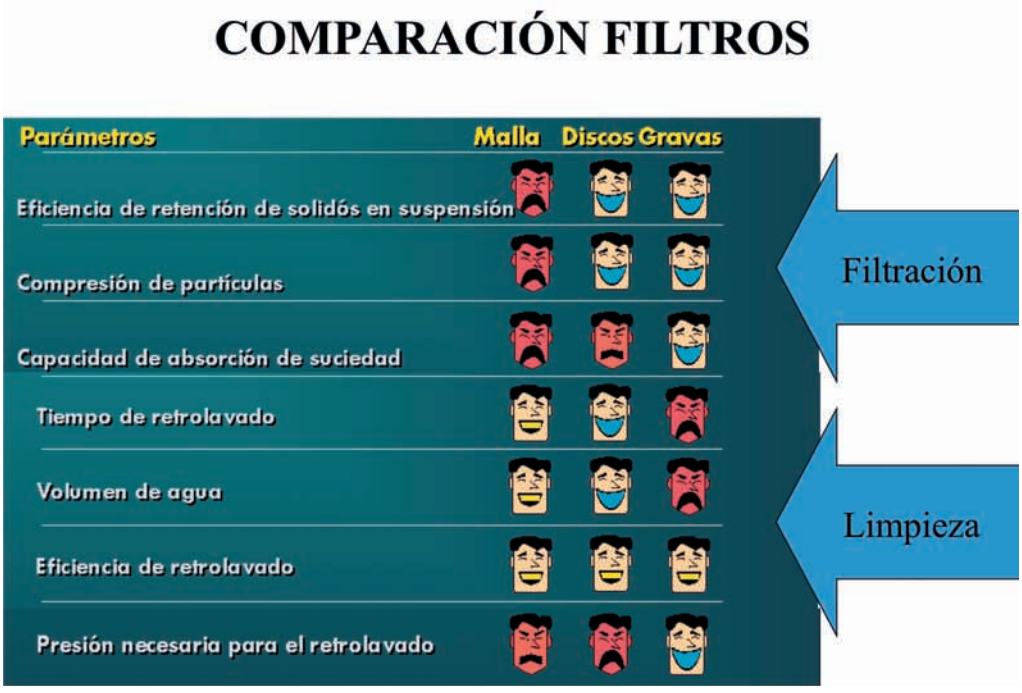


Figura 1. Comparativa de filtros. Tabla orientativa de la elección del filtro más adecuado. Fuente: Regaber

Viendo este cuadro, queda patente que ***"no existe el filtro ideal"***, donde todos los parámetros son los más óptimos, sino que cada filtro será el más adecuado dependiendo del tipo de instalación que tengamos, qué parámetros del agua queramos corregir y qué filtro realice una limpieza más eficiente.

Buscando el sistema de filtración que nos ofrezca una mayor calidad del agua, nos encontramos con los filtros de gravas (filtros de arenas), que nos sirven tanto para una filtración de partículas en profundidad, así como para la retención de la suciedad (eliminación de turbidez). En este caso, podríamos decir que la filtración de arena es la mejor que hay. No obstante, siendo el filtro que nos proporciona mejor filtración, también sería el filtro que tiene un lavado menos eficiente, ya que tiene un mayor consumo de agua y un mayor tiempo de contralavado (aunque también necesitaría una presión menor). Y por otro lado, necesita unas velocidades de filtración muy lentas, por lo que es un sistema que nos ocuparía mucho espacio físico. Ver Figura 2.

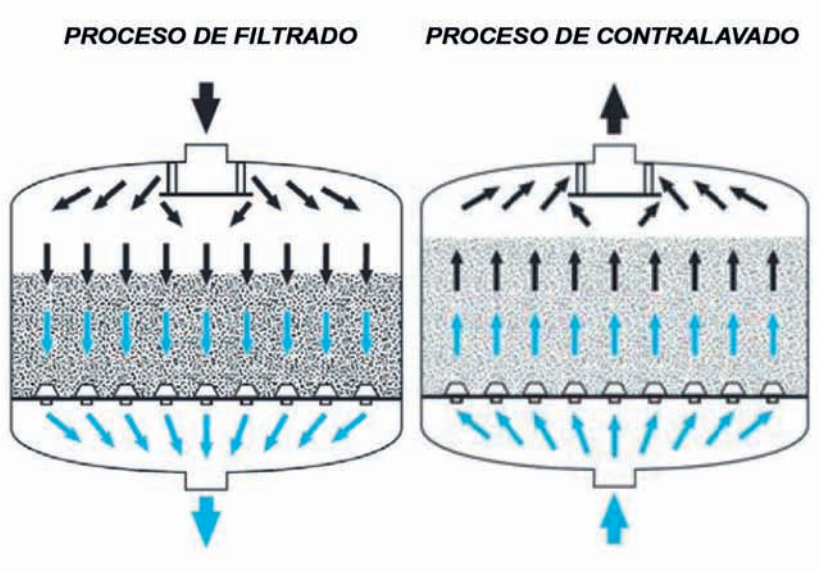


Figura 2. Detalle de procesos de filtrado y contralavado de un filtro de arena. Fuente: Regaber

Atendiendo al tipo de filtro más adecuado desde el punto de vista de la eficiencia energética y el ahorro de agua, podríamos pensar que los filtros de discos (anillas) son los más adecuados. No obstante, si nos fijamos bien, nos damos cuenta que por un lado estos filtros gastan poco agua en el proceso de contralavado, pero por otro lado son los que más

presión necesitan para lavarse. Para corregir este punto, es por ello que han aparecido en el mercado los filtros de anillas denominados LCE (Low Cost Energy), de los cuales vamos a hablar en el siguiente capítulo.

2. FILTROS DE BAJA PRESIÓN "LCE" (LOW COST ENERGY)

Más arriba, hemos comentado que los filtros de anillas, aún suponiendo una filtración muy efectiva tanto en superficie como en profundidad, tenían el inconveniente de que para el lavado necesitaban más presión que otros sistemas (mallas o arenas, por ejemplo). Pues bien, con las baterías de filtración de baja presión, podemos considerar una **presión de lavado solamente de 1,5 bar,** lo que supone un ahorro energético más que considerable.

Los filtros de baja presión permiten la completa automatización del proceso de contralavado, con un mínimo consumo de agua (y por tanto ahorro de energía), y sin renunciar a las prestaciones de los filtros de anillas convencionales.

Figura 3. Batería de filtración baja presión. Fuente: Regaber

A continuación vamos a evaluar los costes energéticos entre sistemas LCE (Low Cost Energy) y otros sistemas de filtración para el mismo caudal de filtración. Este estudio se ha realizado en base a un consumo de 5.000 m^3/ha.

En esta comparativa se ha considerado una tarifa (TEU0) de 0,117759 €/kwh acorde con resolución del 29/12/09, aplicándose las siguientes fórmulas:

$$\textbf{Consumo energético unitario (kwh/m}^3\textbf{)} = \frac{\textbf{Consumo energético de la bomba de filtración (kw)}}{\textbf{Caudal filtrado (m}^3\textbf{/h)}}$$

$$\textbf{Coste energético unitario (€/m}^3\textbf{)} = \textbf{Coste kwh tarifado (€/kwh)} \times \textbf{Consumo energético unitario (kwh/m}^3\textbf{)}$$

Comparativa 1 (80 m^3/h)

Sistema LCE vs malla hidráulica/filtro arena

SISTEMA LCE	MALLA HIDRÁULICA FILTRO ARENA
• Presión contralavado: 1,5 bar • Consumo bomba: 5,2 kW (según curva de la bomba)	• Presión contralavado: 2,2 bar • Consumo bomba: 9,6 kW (según curva de la bomba)
COSTE ENERGÉTICO: **0,0076 €/m^3** **38 €/Ha**	**COSTE ENERGÉTICO:** **0,0141 €/m^3** **70,5 €/Ha**

- 46% DE AHORRO ENERGÉTICO

Comparativa 2 (170 m³/h)

Sistema LCE vs malla eléctrica

SISTEMA LCE	MALLA ELÉCTRICA
• Presión contralavado: 1,6 bar • Consumo bomba: 12,3 kW (según curva de la bomba)	• Presión contralavado: 2 bar • Consumo bomba: 19,3 kW (según curva de la bomba)
COSTE ENERGÉTICO: **0,0085 €/m³** **42,5 €/Ha**	**COSTE ENERGÉTICO:** **0,0134 €/m³** **67 €/Ha**

- 36,5% DE AHORRO ENERGÉTICO

Comparativa 3 (105 m³/h)

Sistema LCE vs sistema de anillas convencional

SISTEMA LCE	ANILLAS CONVENCIAL
• Presión contralavado: 1,6 bar • Consumo bomba: 6,9 kW (según curva de la bomba)	• Presión contralavado: 2,8 bar • Consumo bomba: 14,0 kW (según curva de la bomba)
COSTE ENERGÉTICO: **0,0077 €/m³** **38,7 €/Ha**	**COSTE ENERGÉTICO:** **0,0157 €/m³** **78,5 €/Ha**

- 50,7% DE AHORRO ENERGÉTICO

3. LA IMPORTANCIA DE UN CONTRALAVADO EFICIENTE

La eficiencia en el contralavado de los filtros, tiene una repercusión directa en el gasto de agua y el consumo energético, es por ello que se hace indispensable analizar las siguientes gráficas:

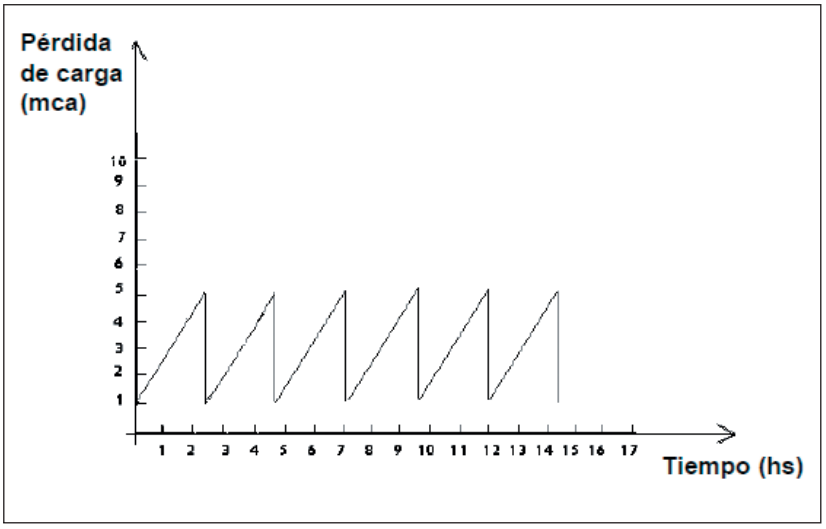


Figura 4. Gráfica de un contralavado eficiente de un filtro autolimpiante. Fuente: Regaber

Un contralavado y los factores externos. Como podemos observar en la Figura 4, cada vez que el filtro comienza el proceso de contralavado, la presión diferencial vuelve a su rango original. En consecuencia, el filtro volverá a contralavar en el espacio de tiempo adecuado, sin posibilidad de que se adelante y se lleven a cabo más contralavados de los correspondientes, lo que conllevaría un consumo excesivo de agua y energía.

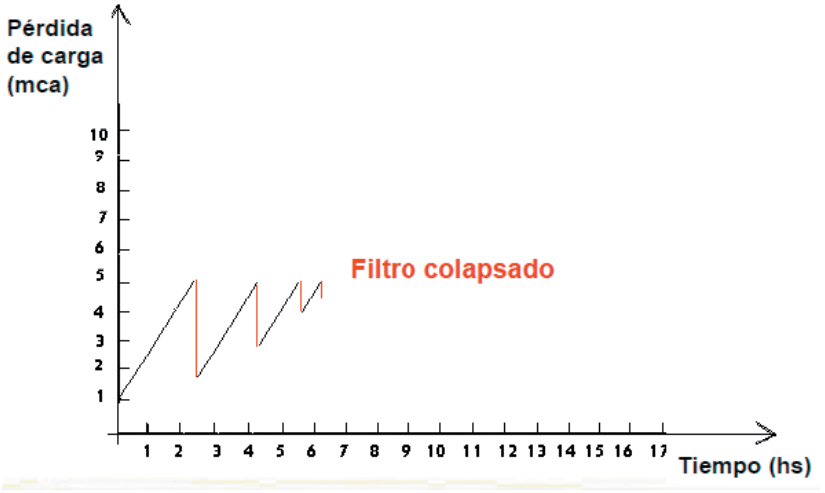


Figura 5. Gráfica de un contralavado incorrecto de un filtro autolimpiante. Fuente: Regaber

Según podemos interpretar viendo la Figura 5, si el proceso de contralavado de los filtros no es eficiente, las partículas sólidas quedarán en el filtro, y la pérdida de carga no volverá a ser la inicial, sino que será mayor. Esto nos va a dar lugar a un mayor número de contralavados (ya que el diferencial de presión se alcanzará con mayor rapidez). Mayor número de contralavados, significa un mayor gasto de agua y un excesivo consumo de energía, ya que el bombeo estará prácticamente funcionando sin parar.

Si no actuamos a tiempo, incluso podemos llegar al ***«colapso total»*** del filtro. En esta situación, el filtro entrará en un ***«proceso de lavado continuo»***, donde el gasto de agua y energía será permanente. De aquí, la suma importancia de que el contralavado de los filtros se realice de una manera eficiente.

ANEJO 3: HUNTER INDUSTRIES. EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS DE RIEGO AÉREOS

Gonzalo Varela
European Field Service Manager
Hunter Industries
www.hunterriego.es

1. INTRODUCCIÓN

A la hora de diseñar un **sistema de riego eficiente**, cabe recordar que la combinación de los diferentes fabricantes, modelos, boquillas y espaciamiento de los emisores, producen perfiles de aplicación únicos y diferentes que en última instancia afectan al rendimiento del sistema. A su vez, algunos perfiles dan mejor rendimiento que otros, con lo que una buena manera de evitar un diseño poco eficiente, es el de **analizar los emisores**, sus **boquillas** y los **perfiles de distribución** antes de hacer una selección final del producto.

2. PLUVIOMETRÍA EN EMISORES DE RIEGO.

SI alguien dijese que se ha visto atrapado en un chaparrón que ha dejado caer veinticinco milímetros de agua en una hora, tendríamos una idea de cuanto habría llovido. Una llovizna que cubra un área de un metro cuadrado, con un litro de agua en una hora, tiene una tasa de precipitación o pluviometría de un milímetro por hora (1 mm/h). De manera similar, si un sistema de riego aplica suficiente agua como para cubrir el área regada con un milímetro de agua en una hora, el sistema de riego también tiene una tasa de precipitación o pluviometría de 1 mm/h. Así, la **pluviometría se define como la velocidad a la cual un emisor o un sistema de riego aplica un volumen de agua en una superficie, en la unidad de tiempo**. La pluviometría es un factor crítico en el diseño de los sistemas de riego, porque los emisores pueden fácilmente aplicar el agua en tasas superiores a la velocidad de infiltración de agua en el suelo.

Mientras que la relación entre el tipo de aspersor y su pluviometría no es absoluta, el siguiente Gráfico 1 muestra una indicación general

de las pluviometrías que se pueden esperar de los distintos tipos de emisores:

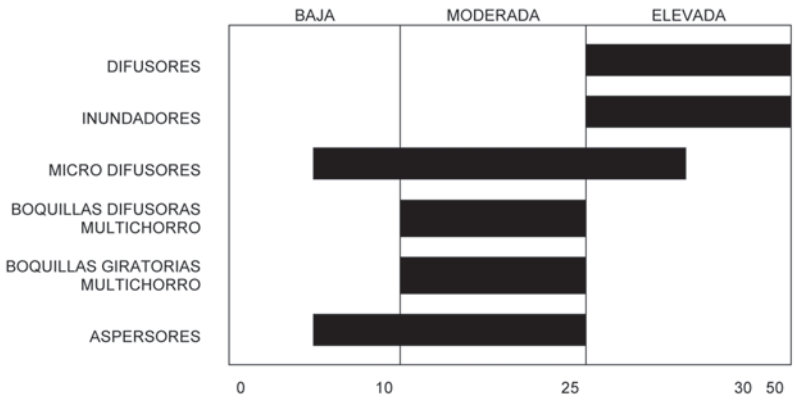


Gráfico 1. Pluviometría de los distintos emisores. Fuente: Hunter Industries

- *Pluviometrías elevadas – Más de 25 mm/h:* Los emisores con este tipo de pluviometría son los más indicados para su uso en terrenos llanos, con texturas gruesas, elevadas velocidades de infiltración y poco riesgo de erosión. Si se utilizan terrenos con otros condicionantes, el manejo del riego debe incluir el uso de ciclos cortos de riego para evitar escorrentías y la erosión del suelo.

- *Pluviometrías moderadas – Entre 10 y 25 mm/h:* Los emisores con estas pluviometrías deberían ser utilizados en condiciones similares a las descritas para los emisores de pluviometrías elevadas. Sin embargo, estos podrán hacerse funcionar en ciclos más largos de riego que los anteriores.

- *Pluviometrías bajas – 10 mm/h o menos:* Los emisores de baja pluviometría tienen la ventaja de que se pueden utilizar en terrenos con una variedad más amplia de texturas y pendientes, sin provocar escorrentías excesivas ni erosión del suelo.

3. CÁLCULO DE PLUVIOMETRÍAS. TIEMPOS DE RIEGO.

Dependiendo del tipo de sistema de riego, la pluviometría puede ser definida como pluviometría del «emisor» o del «sistema».

- **Pluviometría del emisor:** Cuando se da la pluviometría de un emisor, se refiere a la pluviometría de un sistema en el que se usa un tipo específico de emisor. La pluviometría de un emisor, se calcula utilizando el **método de espaciamiento de emisores.** Este método calcula la pluviometría de aquellos emisores con el mismo espaciamiento, caudal (en l/m o m³/h) y arco de riego.

- **Pluviometría del sistema:** La pluviometría de un sistema es la pluviometría media de todos los emisores de una zona, independientemente del arco, espaciamiento y caudal de cada uno de ellos. La pluviometría del sistema se calcula utilizando el **método del área total.** La zona para la que se realiza el cálculo suele coincidir con la superficie que riegan todos los emisores de una electroválvula. Mientras que cada emisor puede tener diferente pluviometría, este método nos da la pluviometría media en toda la zona.

El método del área total es más útil y preciso cuando todos los emisores de la zona tienen pluviometrías similares. Cuando las pluviometrías de los emisores varían considerablemente, la pluviometría media puede ser engañosa, con lo que el sistema de riego puede haber aplicado suficiente agua para el promedio de la zona a regar, pero probablemente habrá zonas secas así como zonas húmedas.

Es importante recordar que la **pluviometría y la uniformidad del sistema son dos cuestiones completamente distintas**. Las pluviometrías calculadas no reflejan la uniformidad con la que el agua se está aplicando. La uniformidad del sistema es un valor muy importante y siempre debe ser tenido en cuenta a la hora de programar el sistema de riego o de determinar los requerimientos mínimos de suministro de agua.

Para el **cálculo de pluviometrías**, veremos ahora las fórmulas aplicadas para cada método.

Método de espaciamiento de emisores

Este método se utiliza para determinar la pluviometría de un solo emisor. La pluviometría se calcula suponiendo que el emisor se utiliza en conjunción con otros emisores de la misma clase (es decir, el mismo arco, caudal y espaciamiento). Con este método, se puede comparar la pluviometría de tipos similares de emisores.

Para emisores circulares, se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = (60 \times Q\ (l/min))/(S \times L)$$

$$P = (1.000 \times Q\ (m^3/h)) / (S \times L)$$

P = Pluviometría expresada en mm/h

Q = Caudal del emisor

S = distancia en metros entre emisores

L = distancia en metros entre líneas de emisores

Para emisores con cualquier arco, se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = (21.600 \times Q\ (l/min))/(A \times S \times L)$$

$$P = (360.000 \times Q\ (m^3/h)) / (A \times S \times L)$$

P = Pluviometría expresada en mm/h

Q = Caudal del emisor

A = Arco de riego del aspersor expresado en grados

S = distancia en metros entre emisores

L = distancia en metros entre líneas de emisores

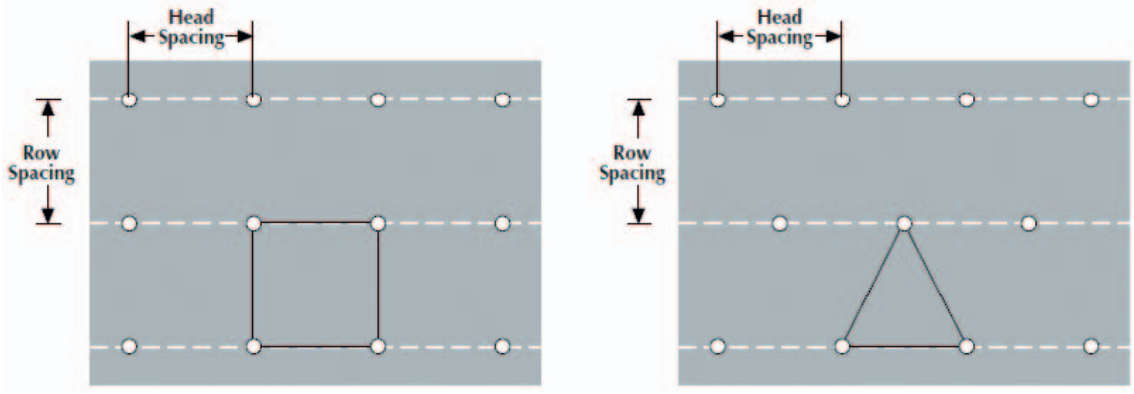


Figura 1. Distancias en marco cuadrado y triangular. Fuente: Hunter Industries

Método del área total

Este método de cálculo es el más adecuado para determinar la pluviometría media de un sistema, o parte de un sistema, que utiliza emisores de diferentes arcos, caudales y espaciamientos. La fórmula para el método de área total es:

$$P = (60 \times QT\ (l/min))/\ Superficie$$

$$P = (1.000 \times QT\ (m^3/h))\ /\ Superficie$$

P = Pluviometría expresada en mm/h

Q_T = Caudal total de los emisores que riegan la superficie útil de riego.

S = Superficie útil de riego, expresada en m^2.

Calcular el **tiempo de riego de un emisor** sin saber su pluviometría es como intentar estimar la hora de llegada sin saber a qué velocidad estamos viajando. La pluviometría representa la velocidad a la que se aplica una cantidad de agua por unidad de tiempo. Es importante saberla porque ayuda a estimar cuanto tiempo tardaremos en aplicar la cantidad de agua necesitada por las plantas del jardín, y nos permitirá programar adecuadamente los tiempos de riego, para evitar zonas muy secas o muy húmedas. Si no se conoce la pluviometría, se tiende a regar en exceso para asegurar que se aplica una cantidad de agua suficiente.

4. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE UN EMISOR.

Normalmente, un único emisor no está diseñado para distribuir agua de manera uniforme a través de un área determinada. Los emisores se diseñan para proporcionar una **distribución uniforme del agua cuando se solapan con otros**. Un único emisor, cuando se mide con pluviómetros, tiene mayor pluviometría en la zona cercana y disminuye a medida que nos alejamos del mismo. Vemos en el Gráfico 2 el perfil de distribución de un aspersor.

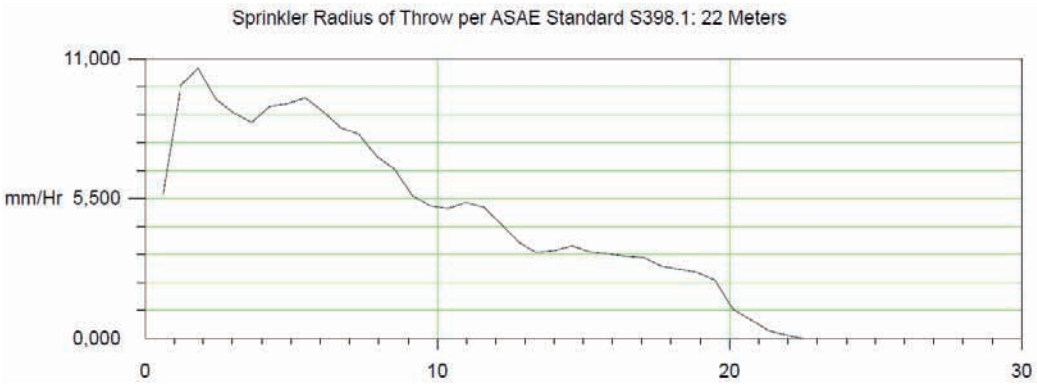


Gráfico 2: Perfil de distribución de un aspersor. Fuente: Hunter Industries

Cuando existe **solapamiento**, la zona de cobertura más débil de un emisor se complementa con el riego de los emisores adyacentes. El marco más utilizado, y en la mayoría de los casos el más eficiente, es el de **emisor a emisor**, como podemos ver en el siguiente Gráfico 3.

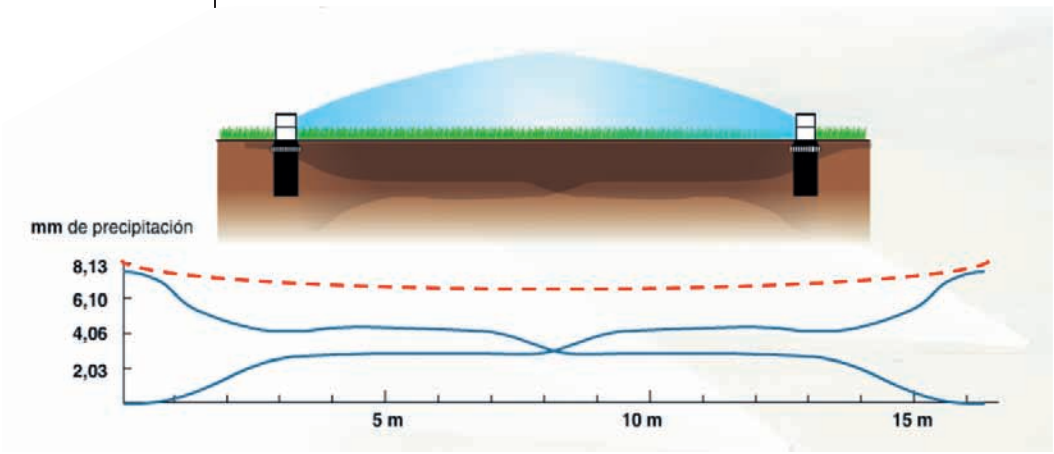


Gráfico 3. Perfil de distribución con marco emisor a emisor. Fuente: Hunter Industries

El **alcance del emisor** aparece en las tablas de rendimiento de los catálogos de los fabricantes y se mide en condiciones de viento cero, como podemos ver aquí en la Foto 1, datos de rendimiento de un modelo de aspersor.

Tobera I-35 *Sierra*
Datos de rendimiento: sist. métrico

Tobera	Presión Bares	Presión kPa	Radio m	Caudal m³/h	Caudal l/min	Pluv. mm/h ■	Pluv. mm/h ▲
9	2,5	250	14,0	1,65	27,5	17	19
	3,0	300	14,3	1,81	30,1	18	20
	3,5	350	14,9	1,94	32,3	17	20
	4,0	400	15,2	2,05	34,2	18	20
	4,5	450	15,2	2,16	36,0	19	22
	5,0	500	15,5	2,27	37,8	19	22
12	3,0	300	15,8	2,38	39,6	19	22
	3,5	350	16,2	2,57	42,8	20	23
	4,0	400	16,5	2,75	45,7	20	23
	4,5	450	16,5	2,91	48,5	21	25
	5,0	500	16,8	3,07	51,2	22	25
	5,5	550	16,8	3,24	54,0	23	27
15	3,0	300	16,8	2,86	47,7	20	24
	3,5	350	17,1	3,05	50,8	21	24
	4,0	400	17,4	3,22	53,7	21	25
	4,5	450	17,4	3,38	56,3	22	26
	5,0	500	17,4	3,53	58,8	23	27
	5,5	550	17,7	3,69	61,5	24	27
18	3,0	300	17,4	3,08	51,4	20	24
	3,5	350	17,7	3,31	55,2	21	24
	4,0	400	18,0	3,52	58,7	22	25
	4,5	450	18,3	3,72	62,0	22	26
	5,0	500	18,9	3,91	65,2	22	25
	5,5	550	19,2	4,11	68,5	22	26
21	4,0	400	18,6	3,97	66,2	23	27
	4,5	450	18,9	4,20	70,1	24	27
	5,0	500	19,2	4,42	73,7	24	28
	5,5	550	19,5	4,66	77,7	25	28
	6,0	600	19,8	4,86	81,0	25	29
	6,5	650	20,1	5,05	84,2	25	29
24	4,0	400	19,2	4,88	81,3	26	31
	4,5	450	19,5	5,18	86,3	27	31
	5,0	500	19,8	5,47	91,1	28	32
	5,5	550	20,1	5,78	96,3	29	33
	6,0	600	20,1	6,04	100,6	30	34
	6,5	650	20,4	6,29	104,8	30	35
27	4,0	400	19,8	5,23	87,1	27	31
	4,5	450	20,1	5,58	93,1	28	32
	5,0	500	20,4	5,29	98,7	28	33
	5,5	550	21,0	6,29	104,9	28	33
	6,0	600	21,0	6,60	110,0	30	34
	6,5	650	21,3	6,90	115,1	30	35
30	4,5	450	20,1	5,93	98,8	29	34
	5,0	500	20,7	6,21	103,5	29	33
	5,5	550	21,3	6,52	108,6	29	33
	6,0	600	21,3	6,77	112,8	30	34
	6,5	650	21,6	7,01	116,9	30	35
	7,0	700	21,6	7,24	120,7	31	36

Foto 1. Rendimientos de las toberas del aspersor I-35. Fuente: Hunter Industries

En **zonas ventosas,** se necesitará reducir el marco por debajo del 50% del diámetro de alcance del emisor.

Para poder evaluar el rendimiento de un emisor, estudiaremos el **perfil de distribución de agua** que presenta mediante una de las dos siguientes maneras:

- Perfil de un único aspersor obtenido en laboratorio.
  - — Realizado en interiores en condiciones de viento cero.

— Evalúa el rendimiento del aspersor con diferentes presiones.

— Se pueden realizar varias pruebas el mismo día.

— Los datos se pueden analizar mediante programa informático.

— Rápido y económico.

- Perfil obtenido mediante auditorías de campo.

  — Se realiza en exteriores en "condiciones reales".

  — Usado para evaluar el rendimiento de un sistema "tal y como es".

  — Se puede analizar con un programa informático.

  — Requiere bastante mano de obra y puede ser molesto.

  — Más caro y lleva más tiempo que las pruebas en laboratorio.

Podemos ver en la Foto 2 y 3, dos ensayos de aspersores, el primero en una nave-laboratorio de pruebas, y otro en el propio campo, con la utilización de pluviómetros.

Foto 2. Ensayos en laboratorio de uniformidad de riego de un aspersor. Fuente: Hunter Industries

Foto 3. Ensayos en campo de la uniformidad de riego.
Fuente: Hunter Industries

5. PERFIL DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA. DENSOGRAMAS.

El **perfil de distribución de agua de un emisor**, es una gráfica que relaciona la distribución de agua con el alcance del emisor. Generalmente, el **mejor perfil** para regar césped, es el que tiene forma de cuña. Esto es debido a que un perfil en cuña solapado de emisor a emisor, mantiene unas tasas de aplicación más uniformes cuando se requieren pequeños ajustes en el espaciamiento de los emisores.

Podemos ver en el Gráfico 4, el perfil de un aspersor.

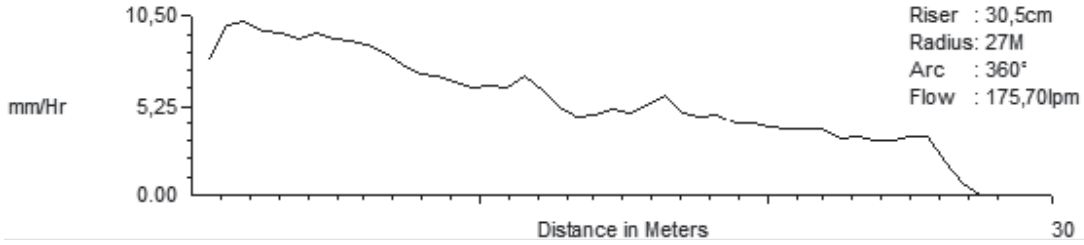


Gráfico 4. Perfil de un aspersor. Fuente: Programa SpaceProTM del C.I.T.

Cuando diseñamos un sistema de riego aéreo, **visualizar como va a ser la uniformidad de la distribución de agua en superficie,** cuando varios perfiles se solapan, puede ser complicado sin la utilización de herramientas informáticas que pueden crear un modelo del riego, basándose en el tipo de aspersor, su espaciamiento, y su perfil de distribución ,creando los denominados **densogramas**.

Un **densograma** es un gráfico que nos muestra cómo va a ser la distribución del agua en la superficie regada. El densograma muestra las áreas secas y encharcadas, utilizando áreas sombreadas de colores claros y oscuros. Las zonas más claras, serán las que han recibido menos agua. Podemos ver, en la Figura 2, el densograma de un mismo emisor con marco triangular.

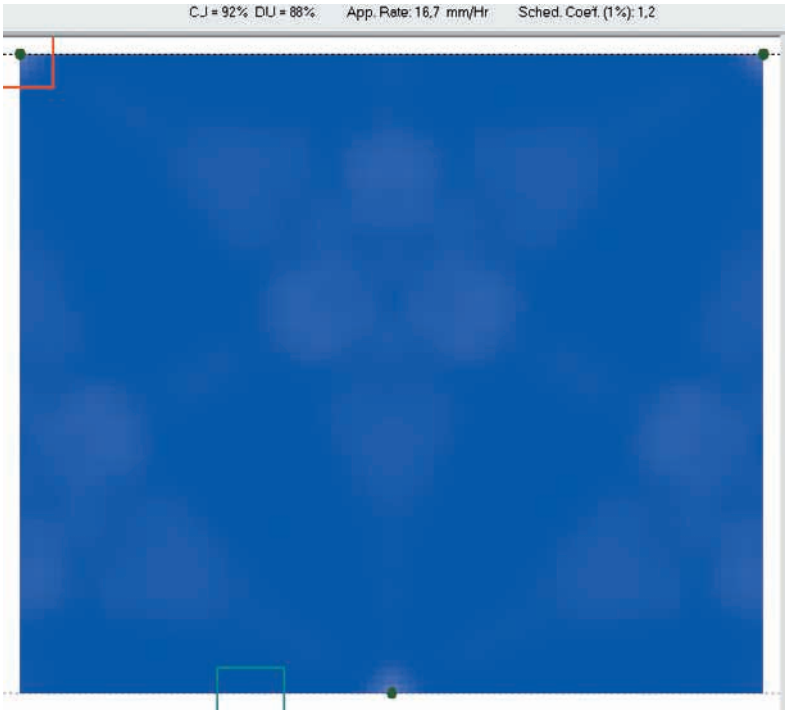


Figura 2. Densograma. Fuente:Programa SpacePro™ del C.I.T.

6. UNIFORMIDAD DEL RIEGO. COEFICIENTES APLICADOS.

Tanto de los perfiles de un aspersor, como de los densogramas, obtenemos **datos estadísticos de rendimiento del sistema de riego**, que son:

- CU - Coeficiente de uniformidad de Christiansen
- DU_{LQ} - Uniformidad de distribución de la cuarta parte más seca
- SC - Coeficiente de programación (Scheduling Coefficient)

Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (C.U.):

$$CU = 100 \times (1 - (D / P))$$

D, desviación media

P, Pluviometría media

Mide la uniformidad, pero únicamente destaca las desviaciones, no las zonas secas. Representa el valor medio de la uniformidad de la cobertura del emisor dando la misma importancia a las zonas regadas en exceso como por defecto. Aunque el CU es ampliamente aceptado para el riego agrícola, su aplicación al riego de praderas es limitado debido a su fallo a la hora de distinguir entre las zonas que están o muy húmedas o muy secas. Por consiguiente DU y SC son las medidas de uniformidad más aceptadas para el riego de praderas.

Uniformidad de distribución (DU):

$$DU_{LQ} = 100 \times (P_{LQ} / P)$$

P_{LQ}, pluviometría media de la cuarta parte más seca

P, Pluviometría media

El coeficiente de uniformidad de distribución del cuarto más bajo, es la media de la cantidad de agua aplicada en el 25 % de la zona que recibe la menor cantidad de agua, dividida por la media de la cantidad de agua recibida en toda la zona. DU_{LQ} es una medida de como de homogéneo es el reparto del agua. Una aplicación perfectamente homogénea de agua tendría un DU del 100 %. La mayoría de los sistemas de riego tienen una media de DU entre 55 % y 75 %, aunque se pueden encontrar sistemas con medias todavía más bajas.

Coeficiente de programación (S.C.)

$$SC = P/P_L$$

P, Pluviometría media

P_L, Pluviometría más baja de la zona contigua definida

El coeficiente de programación (SC) es la medida de la uniformidad en una zona que compara la pluviometría más baja de la zona contigua definida (zona crítica) con la pluviometría media de toda la zona regada. En su forma más pura, el coeficiente de programación está basado en la pluviometría más baja frente a la pluviometría media.

El **coeficiente de programación es una medida de la uniformidad del riego en una zona, que se desarrolló para el riego de praderas**. La zona crítica se define como un porcentaje de toda la zona regada (1 %, 5 %, 10 %). Actúa como multiplicador del tiempo de riego, basándose en la zona más seca. Es un indicativo de cuánto de más debemos regar. Un SC de 1,2 significa que debemos aportar un 20 % más de agua, para garantizar que a la zona más seca, le llega el mínimo de agua necesario aportar.

Ejemplo: Veamos los valores de los tres coeficientes de uniformidad, a partir de unos datos reales obtenidos.

Pluviómetro	Medida(ml)	Desviación de la media
1	16*	4
2	18*	2
3	22	2
4	17*	3
5	19	1
6	24	4
7	19	1
8	21	1
9	20	0
10	23	3
11	21	1
12	20	0

CU, Coeficiente de uniformidad de Christiansen:

- Suma de las desviaciones = 22
- Desviación media = 22/12 = 1,83
- Pluviometría media = 20
- CU = 100 (1-(1,83/20)) = 91 %

DU, Uniformidad de distribución:

- Media de la cuarta parte más baja = 17
- Media = 20
- DU **= 85%**

SC, Coeficiente de programación

- Pluviometría mínima del 10% de la zona regada = 16
- Pluviometría media = 20
- SC(10%) = 20/16 = **1.25**

7. EFICIENCIA Y UNIFORMIDAD DEL RIEGO.

- *Uniformidad:* Se refiere a la homogeneidad de la aplicación del agua en un área. La selección de los emisores afecta a la uniformidad.
- *Eficiencia:* es el ratio entre la cantidad de agua que la planta realmente utiliza en comparación con la cantidad de agua que aplica el sistema de riego.

7.1. Uniformidad

La **uniformidad en la distribución**, Se refiere a la **homogeneidad de la aplicación del agua** en una zona. La uniformidad de distribución del

sistema de riego debe ser buena, para evitar zonas excesivamente húmedas o secas. La uniformidad de distribución depende del espaciamiento de los aspersores y de su perfil de distribución. La dirección y velocidad del viento, la presión del agua o una pequeña interferencia con el emisor, pueden afectar también a la uniformidad de distribución.

Podemos ver en la Figura 3, dos diferentes perfiles de un riego uniforme y otro no uniforme.

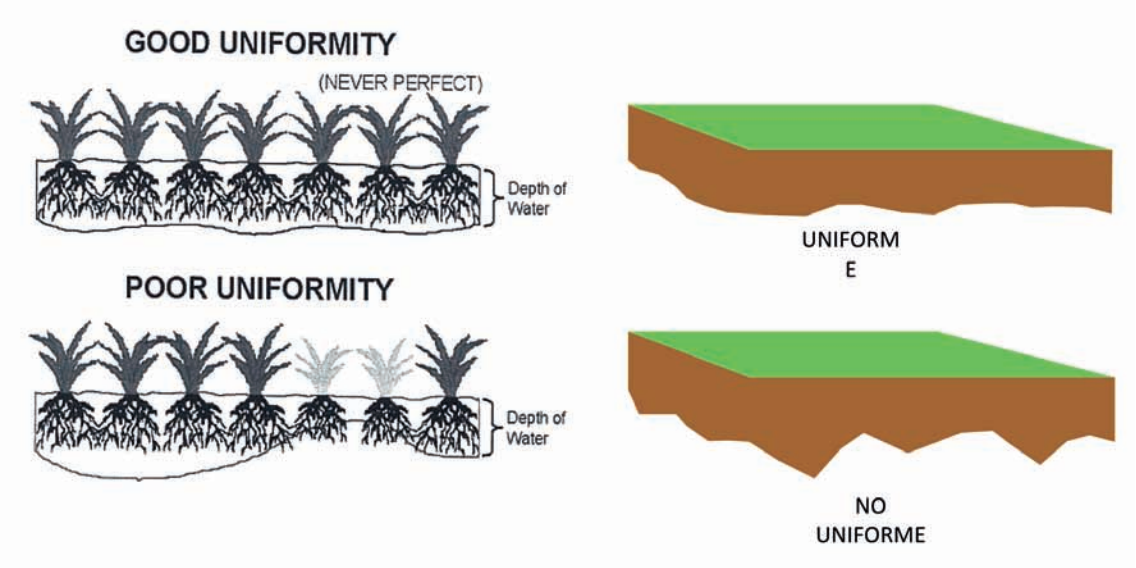


Figura 3. Distributción del agua en un riego uniforme y no uniforme.
Fuente: Hunter Industries

Si un riego no es uniforme, se deberán programar mayores tiempos de riego para cubrir las deficiencias de las zonas que reciben menos agua. En caso de no hacerlo, aparecerán zonas secas. Podemos ver aquí en la Foto 4, la baja uniformidad de un sistema de riego por aspersión, apareciendo zonas secas:

Foto 4. Evidencias de una mala uniformidad en el riego.
Fuente: Hunter Industries

La Tabla 1 adjunta nos muestra la calidad de un sistema de riego basándonos en sus coeficientes de uniformidad:

EMISOR	EXCELENTE (Alcanzable)	BUENA (Esperada)	POBRE (No recomendable)
ASPERSOR	80%	70%	55%
DIFUSOR	75%	65%	50%

Tabla 1. Coeficientes de uniformidad de sistemas aéreos de riego.
Fuente: Hunter Industries

¿Cómo hacemos sistemas de riego más uniformes?

Tan importante es el diseño y la ejecución como el mantenimiento del riego.Pero muy en particular respecto al diseño, la uniformidad de un riego dependerá del tipo de aspersor y la boquilla, del marco y el espaciamiento entre los aspersores, de la presión de trabajo, de la velocidad y dirección del viento y de otros factores más relacionados con el mantenimiento de la instalación, como son la altura de corte del césped, la nivelación del aspersor, suciedad o desgaste de la boquilla, etc...

7.2. Eficiencia

La eficiencia del riego es el **ratio entre la profundidad media del agua de riego infiltrada y almacenada en la zona radicular y la profundidad media del agua de riego aplicada**. Aunque están relacionados, los **conceptos de eficiencia y uniformidad son diferentes**. Por ejemplo, un sistema puede tener una uniformidad elevada, pero tener una baja eficiencia porque se estén programando tiempos de riego muy altos o simplemente el suelo tiene una velocidad de infiltración muy baja, con lo que mucha agua se pierde por escorrentía. Lo ideal sería conseguir tener una uniformidad elevada y una eficiencia elevada.

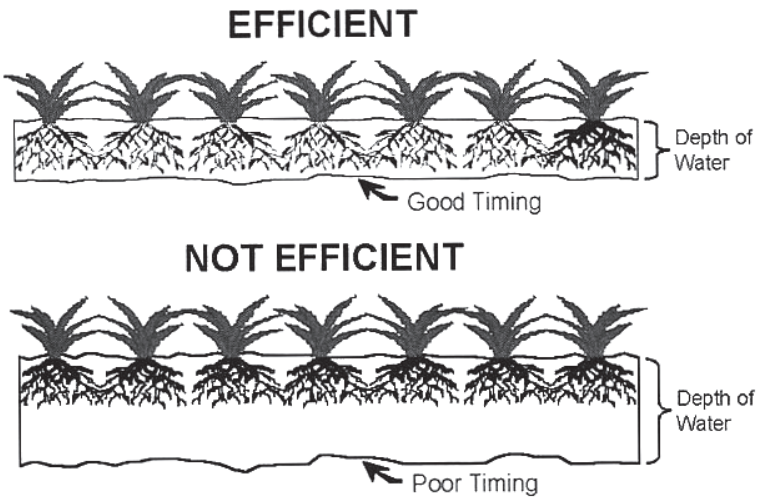


Figura 4. Aplicación de agua de riego eficiente y no eficiente.
Fuente: Hunter

Podemos ver, en la Figura 4, un sencillo dibujo que muestra el perfil de agua alcanzado en dos riegos con distinto tiempo. En el segundo caso, vemos como hay agua fuera del sistema radicular de la planta, por lo que es agua no aprovechada y el riego sería poco eficiente.

¿Cómo hacemos sistemas de riego más eficientes?

Podemos resumir esta pregunta en dos respuestas. La primera, atiende al **diseño y ejecución**. La segunda, al **mantenimiento y gestión** del riego.

- Un sistema de riego es tan eficiente, como las especificaciones escritas que el diseñador haya indicado. Esto es, que se hayan analizado todas las múltiples variables que pueden incidir en la correcta distribución del agua, como son presiones, orografía del terreno, caudales, tipo de agua, tipo de suelo,...

- Un sistema de riego es tan eficiente como el instalador haya ejecutado el sistema de riego, asegurando el diseño del proyecto así como las características técnicas de los materiales con que ha sido diseñado el proyecto.

- Un sistema de riego es tan eficiente como se realice el mantenimiento de la instalación, garantizando la limpieza de los equipos de filtración, las condiciones de trabajo del bombeo, y el correcto funcionamiento eléctrico e hidráulico de todo el sistema.

- Un sistema de riego es tan eficiente como la implicación y conocimientos técnicos tenga el gestor del riego, que analice de un modo eficaz las múltiples variables que intervienen en la gestión del riego.

ANEJO 4. EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO.

Jose María de Frutos
Responsable Jardinería Zona Centro
Regaber
www.regaber.com

1 SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO. AHORRO Y EFICIENCIA GENERALIZADO

Por todo el mundo es conocido que, hablar de **riego por goteo, es sinónimo de hablar de ahorro de agua,** y por consiguiente, de **ahorro de energía**. Esto se debe principalmente a que, para realizar un riego por goteo, necesitamos menos presión que para el riego con otro tipo de emisores (aspersión o difusión, por ejemplo). Bien es cierto, que en el mercado hay infinidad de fabricantes de goteros, con características de funcionamiento muy diferentes, según qué casos. Es por ello la necesidad, de recibir una buena documentación técnica por parte del fabricante cuando vayamos a realizar una instalación de riego por goteo.

En general, hoy en día tendemos a pensar que "*en el riego por goteo todo vale*", pero esto no es así. Muchas veces ni siquiera nos fijamos en las presiones de funcionamiento de los goteros e incluso casi nos da igual el caudal nominal de los goteros, y aquí nos estamos equivocando. No nos hacemos una idea de cómo puede variar la eficiencia y el ahorro conseguido en nuestra instalación, por haber elegido un tipo de gotero u otro (dando por hecho la realización de una buena instalación, claro está). Y ¿dónde radica principalmente esta diferencia, nos podemos preguntar? pues bien, entre otros, básicamente en un concepto llamado **rango de autocompensación**, del cual hablaremos más adelante.

Volviendo a los factores directos o indirectos que afectan en el ahorro de agua y el ahorro energético al realizar un riego por goteo, podemos destacar principalmente los siguientes:

- **La "no necesidad" de instalación de equipos de bombeo**, lo que supone un ahorro energético directo. En el mercado, tenemos go-

teros que empiezan a autocompensar desde muy bajas presiones (incluso desde 4 m.c.a.) lo cual hace que podamos regar por goteo en casi cualquier tipo de instalación, cosa que no podemos decir del riego con otro tipo de emisores.

- **El mejor aprovechamiento del agua por parte de las plantas,** ya que el riego por goteo produce una menor compactación del terreno, lo que conlleva una mejor relación de "Agua - Fertilizante - Aire". Ver Figura 1.

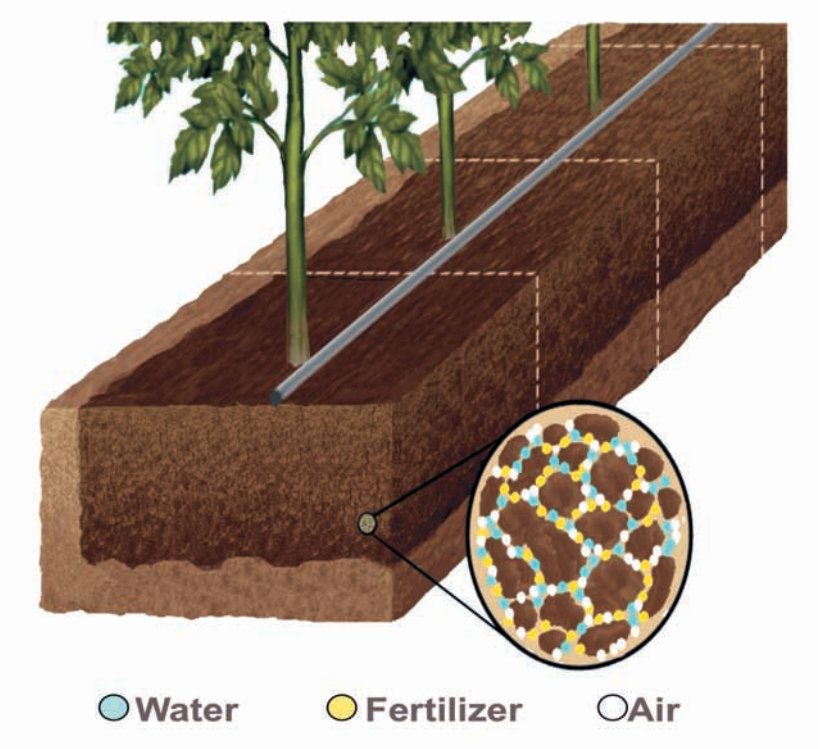


Figura 1. Riego por goteo. Suelo menos compacto. Mejor relación "Agua - Fertilizante - Aire". Fuente: Regaber

- **Concentración de las raíces en un volumen de suelo definido,** lo que significa un ahorro de energía para la planta, mejorando la captación de agua y nutrientes haciéndola más efectiva. Ver Figura 2.

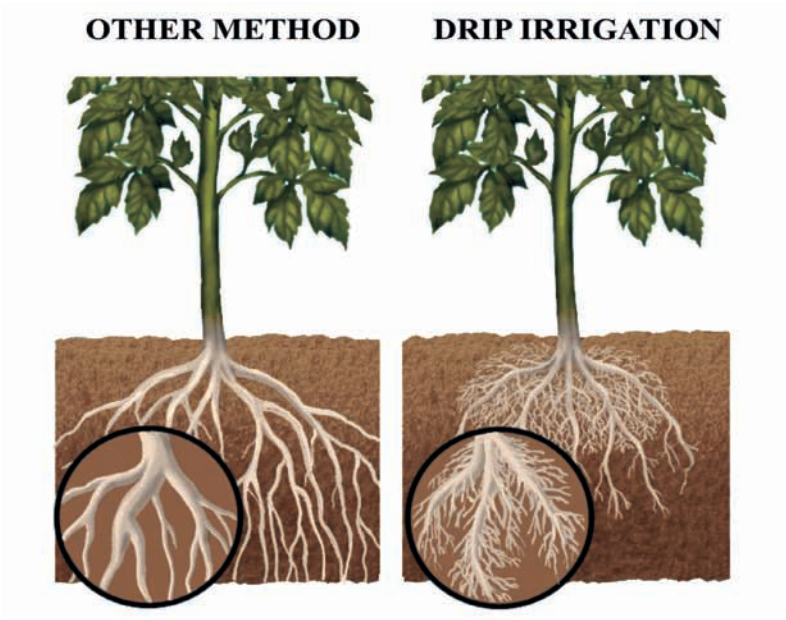


Figura 2. Riego por goteo frente a otros sistemas de riego. Zona radicular más compacta. Fuente: Regaber

2. GOTEROS DE BAJO Y ULTRA BAJO CAUDAL

Dentro de que el riego por goteo ya supone una forma más eficiente de regar, en este apartado vamos a destacar el **riego con goteros autocompensantes de bajo caudal (1 l/h y 1,6 l/h) y ultra bajo caudal (0,6 l/h).**

Como podemos ver en el siguiente Gráfico 1, el comportamiento del **bulbo húmedo** es diferente según los diferentes caudales:

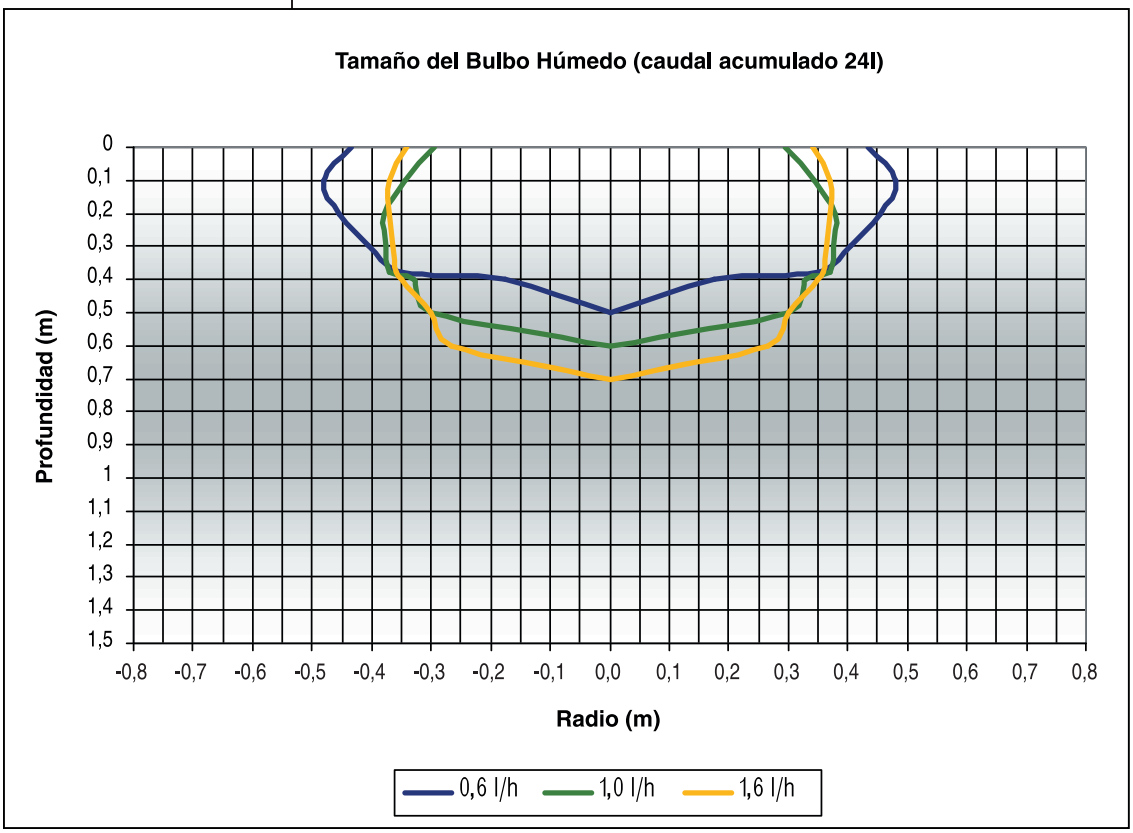


Gráfico 1. Comportamiento bulbo húmedo según caudal del gotero (bajo y ultra bajo caudal). Fuente: Regaber.

Para una misma textura de suelo, a mayor caudal del gotero, mayor es el bulbo de humedad. Pero en el caso del **gotero de ultra bajo caudal (0,6 l/h) aumenta** aún más **el tamaño del bulbo al reducirse el caudal, debido a que mejora la relación *agua - suelo - aire.*** Aquí, la **capilaridad del terreno** juega un papel fundamental, "venciendo" al peso de la masa de agua arrojada por el gotero.

Esto nos lleva a un solape de bulbos más homogéneo, una menor percolación, y por consiguiente un mejor aprovechamiento del agua arrojado. Factores como estos (y algunos más que no se citan en este capítulo) contribuyen a que el riego por goteo tenga una **eficiencia cercana al 100%** (esto quiere decir, que el agua arrojada es prácticamente aprovechada en su totalidad por las plantas que estamos regando).

Otro factor a destacar, desde el punto de vista de ahorro energético, es que estos goteros empiezan a autocompensar desde presiones muy bajas. Su **rango de autocompensación empieza en 4 m.c.a.** y según el modelo de gotero, podemos llegar hasta los 40 m.c.a. donde aún continúan autocompensando.

En la Foto 1, en la posición central, tenemos una franja de goteros de ultra bajo caudal (0,6 l/h) frente a goteros de caudales más conocidos (2,3 l/h), franja situada a la izquierda de la fotografía, donde podemos observar las ventajas anteriormente citadas.

Foto 1. Ensayo goteros de ultra bajo caudal (0,6 l/h) frente a otros goteros (2,3 l/h). Fuente: Regaber

La utilización de goteros de bajo y ultra bajo caudal, toma aún más importancia dependiendo del tipo de suelo que tengamos. Como vemos en la Figura 3.

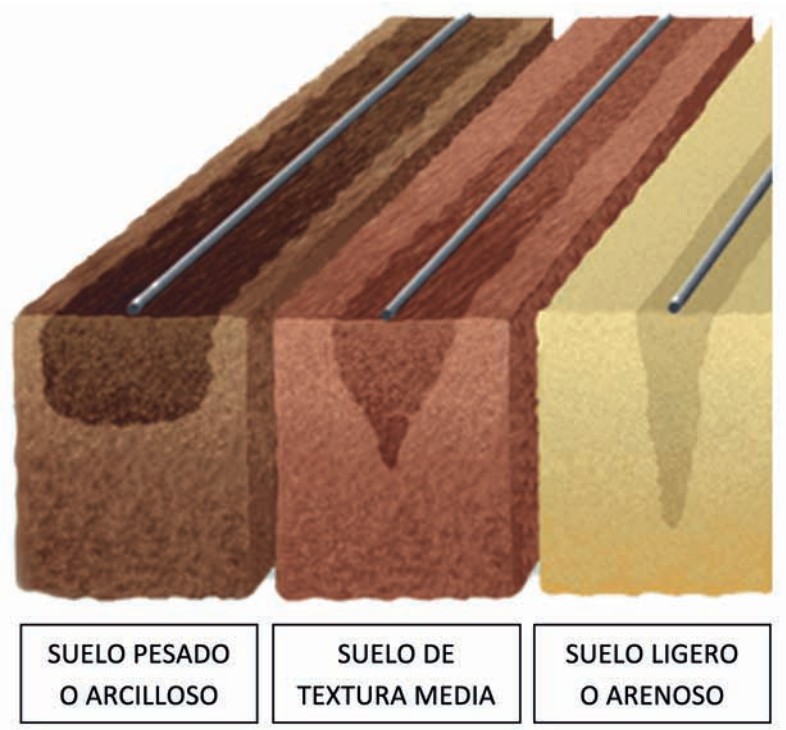


Figura 3. Comportamiento del bulbo húmedo según la textura del suelo. Fuente: Regaber

Según hemos visto más arriba, el gotero de ultra bajo caudal tiende a aumentar el bulbo al reducir el caudal, lo cual nos supone un beneficio en cualquier tipo de textura en la que nos encontremos. En el caso de un suelo arenoso, toma especial importancia, ya que con el riego mediante otro tipo de emisores (goteros de mayor caudal u otros sistemas de riego como aspersión y difusión) perderíamos una cantidad de agua considerable por percolación.

3. LA IMPORTANCIA DEL RANGO DE AUTOCOMPENSACIÓN

Según venimos citando, el **rango de autocompensación** de un gotero, juega un papel fundamental en cuanto al ahorro de agua y eficiencia energética. El que un gotero empiece a autocompensar desde presiones muy bajas (incluso desde los 4 m.c.a. que comentábamos) supone un mejor aprovechamiento de la energía disponible sin necesidad de aportes energéticos exteriores.

Del mismo modo, es muy importante atender a la problemática que puede tener el estar funcionando con goteros por debajo o por encima de su presión de autocompensación, a saber:

Funcionamiento por debajo del rango de autocompensación: Según qué goteros del mercado, nos podemos encontrar que a muy bajas presiones que se queden arrojando un "chorro" de agua, lo cual supone un caudal muy superior al nominal, con el consiguiente gasto innecesario de agua, encharcamientos y otros problemas derivados. Ver Foto 2.

Foto 2. Comportamiento de un gotero por debajo del rango de autocompensación. Fuente: Regaber

- **Funcionamiento por encima del rango de autocompensación:** En este caso, nos podríamos encontrar que el diferencial de presión es tan grande entre el exterior y el interior de la tubería, que la membrana del propio goteo puede llegar a taponar la salida el agua. También hay otros goteros en el mercado que, aunque no lleguen a taponar la salida, su comportamiento será el arrojar un caudal diferente a su caudal nominal.

De manera general para todos los goteros que hay en el mercado, podríamos decir que, tanto **si un gotero está funcionando por debajo de su rango de autocompensación, como si un gotero está funcionando por encima de su rango de autocompensación, el caudal nominal del gotero no se respetará, arrojando agua en una proporción dife-**

rente e imposible de determinar, lo que conlleva un gasto innecesario de agua y energía.

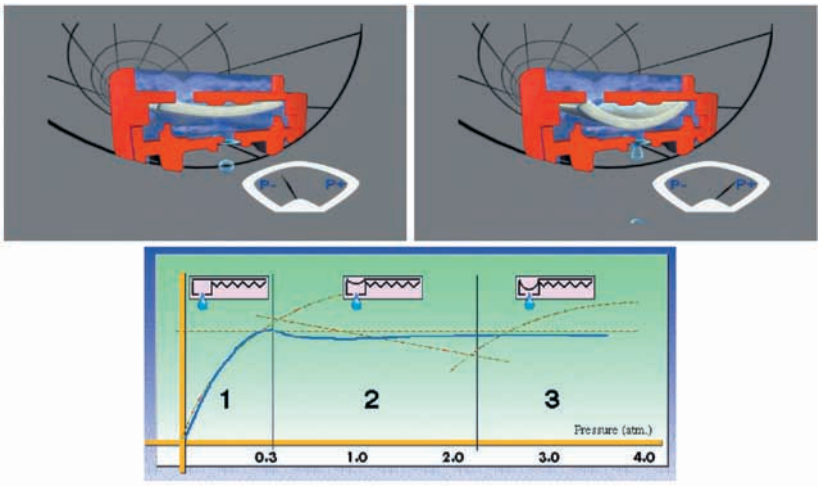


Figura 4. Detalle de sistema de autocompensación de un gotero de pastilla. Fuente: Regaber

4. GOTEROS ANTIDRENANTES

Los **goteros antidrenantes son goteros que, al término del tiempo de riego, se quedan presurizados, evitando descargar el agua de la instalación.** Hay diferentes fabricantes en el mercado, y cada gotero soporta una determinada columna de agua, por debajo de la cual quedan presurizados, como vemos en la Figura 5.

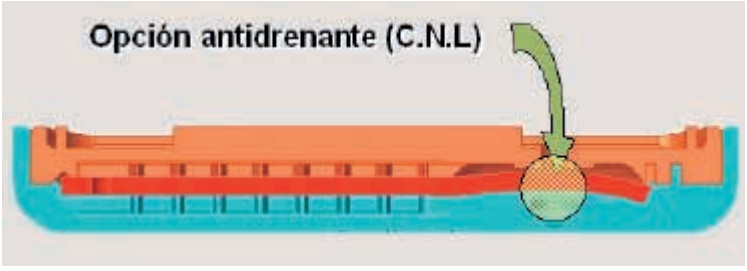


Figura 5. Detalle de un gotero de pastilla antidrenante. Fuente: Regaber

Este tipo de goteros, supone una mejora tanto desde el punto de vista de ahorro de agua como desde el punto de vista de eficiencia energética, por lo siguiente:

- **Ahorro de agua:** Al término del tiempo de riego, la tubería queda llena de agua, evitando descargarse. Al comienzo del siguiente turno de riego, no habrá necesidad de volver a llenar la tubería de agua, ya que está presurizada y se pondrá a regar de inmediato.

- **Eficiencia energética:** Por el mismo motivo anteriormente citado, una tubería presurizada, no gasta energía en volver a llenarse y presurizarse. Esto toma especial importancia en los llamados **"riegos a pulsos",** es decir, riegos frecuentes y de corta duración.

No obstante, hay que tener cierta precaución con el uso de estos goteros, ya que precisa de una mayor calidad en la instalación y manejo más preciso de las políticas de riego. Sin embargo, bien llevado, las ventajas son patentes.

Por ejemplo, en el caso de riego por goteo subterráneo, habrá que tener en cuenta que, el dejar la tubería presurizada, puede suponer un fuerte **"efecto llamada" a las raíces de las plantas colindantes**. No obstante, si disponemos de un buen gotero con barrera anti-raíces, Figura 6, y realizamos los turnos de riego adecuados, no debemos de preocuparnos.

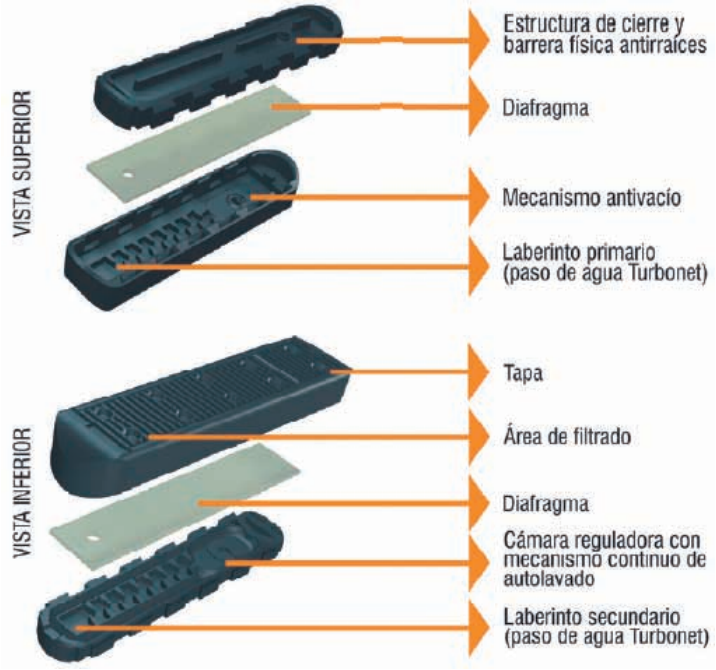


Figura 6. Partes de un gotero autocompensante con sistema antiraíces. Fuente: Regaber

Por otro lado, destacar **el uso con aguas regeneradas**. En este caso, el dejar presurizada la tubería con agua renegerada (reclaimed water) durante un tiempo determinado sin que haya paso de flujo de agua, puede conllevar la aparición de biocapas (capa bacteriana) que nos pueden llegar a obstruir los goteros. Igualmente, si aplicamos una política de riego adecuada y realizamos las diferentes labores de mantenimiento recomendadas para el riego con este tipo de agua, tampoco deberíamos presentar problemas.

ANEJO 5. LA TELEGESTIÓN EN REDES DE RIEGO. UN PASO MÁS HACIA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EL AHORRO DE AGUA.

Departamento de proyectos de Samcla
Samcla
www.samcla.com

1. ANTECEDENTES

A día de hoy, en la mayoría de municipios, infraestructuras, instalaciones deportivas, de ocio o educativas dónde existen espacios verdes, se dispone de una red de riego, total o parcialmente automatizada, para el control del riego de parques, jardines, arbolados y zonas verdes en general.

Sin embargo, debido a la ubicación de los espacios verdes, normalmente no se dispone de alimentación eléctrica y más aún cuándo nos referimos al ámbito municipal. Así pues, a falta de electricidad, la automatización de la red de riego se realiza mediante equipos de programación autónomos alimentados con pilas convencionales (normalmente de 9 V).

Si bien la transformación de sistemas de riego manuales a sistemas automatizados ha sido muy positiva y beneficiosa en general ¿qué pasa cuando el sistema de riego está funcionando y es necesario cerrarlo debido a situaciones de lluvia u otros factores climatológicos adversos? ¿Y qué ocurre cuando hay que cerrar gran cantidad de programadores simultáneamente? ¿Y cuándo es necesario ajustar los tiempos de riego de todos los programadores autónomos en función de la climatología de cada momento?

La respuesta a éstas y otras cuestiones que se pueden plantear es muy sencilla: No se puede actuar sobre toda la red de riego (por ejemplo en un municipio) dado que los recursos humanos son limitados y, además, durante la noche y los fines de semana el personal de mantenimiento no suele estar operativo. Por otro lado, en el supuesto que se dispusiera de los recursos humanos necesarios, el coste extra de personal y desplazamientos requeridos para actuar sobre todos los

programadores de riego haría inviable la gestión correcta y eficiente de estos sistemas de riego automatizado.

Por todo ello, y considerando el actual y futuro período de severas restricciones presupuestarias, se hace imprescindible el estudio y puesta en marcha de sistemas de telegestión del riego que permitan controlar, de manera eficiente y sostenible, la totalidad de las zonas verdes.

2. LOS SISTEMAS DE TELEGESTIÓN

A nivel conceptual, un sistema de telegestión de redes de riego, a parte de la extraordinaria facilidad en la gestión diaria, aporta un importante ahorro de agua, energía y tiempo del personal de mantenimiento a las tareas de mantenimiento.

Una de las principales características de los actuales sistemas de telegestión es que no precisan la realización de obra civil (zanjas, cableados, etc.) y el coste de comunicaciones telefónicas es mínimo. A su vez, estos sistemas de telegestión pueden actuar sobre toda la red de riego de zonas verdes con independencia de la fuente de alimentación de los programadores (eléctrica o pilas).

Los sistemas de telegestión más avanzados, a parte de la incorporación de sensores climatológicos (lluvia, viento y temperatura) están diseñados para trabajar con un software de gestión accesible mediante una página web con cualquier dispositivo conectado a Internet (ordenador de mesa o portátil, smartphone, tablet, etc.). Al mismo tiempo, también se puede controlar el sistema de riego mediante consolas.

Foto 1. Control mediante dispositivos con conexión a Internet.
Fuente: Samcla

3. VENTAJAS DE LOS SISTEMA DE TELEGESTIÓN

La introducción de los sistemas de telegestión para el control del riego de los espacios verdes comporta la consecución de diversas ventajas, ya sean desde un punto de vista económico, medioambiental o de seguridad.

Económicas

Ahorro en consumo de agua

- Por **aprovechamiento del agua de la lluvia**. El sistema de telegestión permite parar la totalidad de los equipos de programación de riego, de manera inmediata, cuando suceden o se prevén situaciones de lluvia. De esta manera se puede aprovechar toda el agua de la lluvia para el riego.
- Por **optimización de los tiempos de riego**. Por un lado, el hecho de poder gestionar, desde cualquier lugar y en cualquier momento todos los equipos de programación, permite ajustar constantemente los tiempos de riego para cada zona verde. Este ajuste constante de los tiempos comporta una mejor eficiencia en el consumo de agua, y por tanto, un ahorro. Por otro lado, el sistema permite cerrar y abrir todos los programadores de riego de manera inmediata desde cualquier dispositivo con conexión a Internet. Esto supondrá poder ahorrar agua en aquellos momentos en que, debido a imprevistos o situaciones excepcionales, sea necesario parar o modificar las programaciones de riego.
- Por **detección de fugas**. El sistema de telegestión permite detectar, de manera automática e inminente, posibles fugas o excesos de consumo. Esta detección permitirá al personal de mantenimiento poder actuar de manera inmediata tan pronto como el sistema detecte la fuga, y no, cuando la fuga es perciba en el exterior de los espacios verdes. Lógicamente, en el momento que el sistema detecte el exceso de consumo (en función de los umbrales previamente fijados) se podrá cortar el riego. Este corte inmediato permite un ahorro de agua muy importante debido a fugas que, en muchas ocasiones, son subterráneas.

Ahorro en consumo de energía

- En aquellos parques o zonas verdes de dimensiones considerables, normalmente existe un sistema hidráulico dotado con bombas (las cuales consumen energía). En estos casos, el sistema de telegestión

permite optimizar al máximo los cambios en los tiempos y las frecuencias de riego de manera que también se optimiza el tiempo de utilización de las bombas, con el consiguiente ahorro en el consumo de energía utilizada por estos componentes.

- Por otro lado, la incorporación de sensores de humedad, sensores de caudal y sensores de presión, permiten ajustar las necesidades de riego de cada momento, necesidades las cuales permitirán optimizar al máximo el consumo de agua, y, por defecto, el consumo de energía de todos los elementos hidráulicos que intervienen en un sistema de riego. También es adecuada la incorporación de estaciones meteorológicas, y no se ejecutarán los riegos en situaciones climatológicas adversas, y regaremos a la demanda de las necesidades.
- Otro factor importante para el ahorro de energía es la gestión de alarmas para el control de fugas y control de presiones mínimas y máximas en la red. Estas alarmas, enviadas a los gestores del sistema de telegestión, permitirán la detección y actuación immediata sobre posibles fugas o excesos de caudal debido a actos de vandalismo, cancelar riegos en situaciones de alta presión, incluso actuando sobre el sistema de bombeo.

Ahorro en tareas de mantenimiento

- Personal. El sistema permite gestionar el riego desde cualquier dispositivo con conexión a Internet. Así pues, ya no sea necesario el desplazamiento del personal de mantenimiento para hacer los cambios de programación de riego en cada zona, así como tampoco será necesario ir a cada zona para cerrar el riego en situaciones de lluvia o imprevistos.
- Desplazamientos. Además del ahorro generado por la innecesaria actuación del personal de mantenimiento, también se obtiene un ahorro debido a que no será necesario realizar los desplazamientos en vehículos.

Medioambientales

- En situaciones de lluvia, el sistema permite cerrar de manera inmediata, parte o toda la red de riego, evitándose así el malbaratamiento del agua.

- Ejemplificación de las buenas prácticas medioambientales.
- Aumento del compromiso con el medioambiente y la nueva cultura del agua.

Seguridad

- En situaciones climatológicas adversas (lluvias, heladas o viento excesivo), el sistema de telegestión permite cerrar la red de riego, evitándose de esta manera accidentes y resbalones.

4. FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE TELEGESTIÓN Y ELEMENTOS QUE LO COMPONEN

El objetivo principal, y la razón de ser, de un sistema de telegestión es tener la capacidad de controlar a distancia toda un red de riego con un simple dispositivo con conexión a Internet.

Así pues, ¿cómo podemos controlar toda la red de riego de un municipio estando nosotros de vacaciones en un hotel de París?

En primer lugar, utilizamos Internet cómo plataforma de comunicación entre nuestra posición y el *hosting* dónde se ubica el software de gestión. Es decir, podremos estar en un hotel en París y, a través de nuestro Smartphone, nos conectaremos al software de gestión vía Internet y podremos realizar cualquier actuación sobre el sistema de telegestión.

Una vez hemos realizado cualquier consulta o actuación sobre el software de gestión, el sistema envía las ordenes a los equipos terminales remotos (programadores de riego, controladores de consumos, etc) utilizando la telefonía móvil GPRS y la Radiofrecuencia (bandas libres) cómo vías de transmisión de datos.

El objetivo de utilizar un sistema híbrido de comunicaciones, GPRS y radiofrecuencia, se basa en el importante ahorro en costes de comunicaciones. Es decir, mediante la instalación de algunos equipos Concentradores o HUB's (los cuales incorporan un módem de comunicaciones GPRS), el sistema se comunicará con la totalidad de equipos terminales remotos –centenares o miles- mediante radiofrecuencia la cual es gratuita sin coste alguno.

En resumen, el esquema básico de funcionamiento del sistema sería:

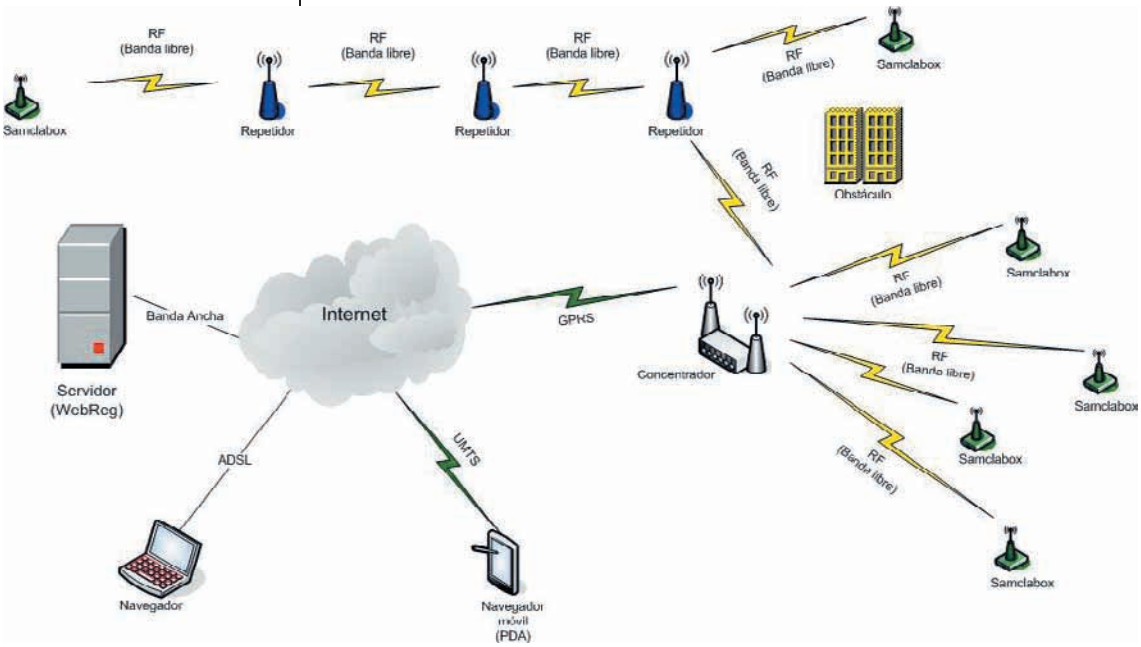


Figura 1. Esquema de comunicaciones. Fuente: Samcla

Cómo de puede apreciar en el esquema los elementos básicos que configuran el sistema de telegestión serían:

- SOFTWARE DE GESTIÓN
- EQUIPO TERMINAL REMOTO
- EQUIPO REPETIDOR
- EQUIPO CONCENTRADOR

Describimos estos elementos a continuación:

Software de gestión

Las funciones principales pueden ser:

- Acceso vía Internet mediante una página web
- Plataforma multiusuario, sin restricciones de conexión, con asignación de privilegios de acceso y gestión en función del rol de cada usuario

- Programación de los equipos remotos en función de múltiples criterios
- Exportación de los programas de riego en hojas de cálculo
- Visualización y programación de los equipos geoposicionados mediante mapas
- Filtros de los diferentes equipos según áreas territoriales o según su funcionalidad: sistema de riego, tipo de agua, etc.
- Paro y encendido inmediato de todos los equipos a la vez, según filtros o de manera individual
- Registro y auditoría de acciones de riego, programaciones, accesos, etc.
- Control de consumos y de fugas de agua con representación gráfica diaria

Equipo Terminal Remoto

Equipo de reducidas dimensiones que puede actuar sobre electroválvulas, contadores, bombas, surtidores, fuentes ornamentales, etc. Este equipo se instala dentro de cualquier tipo de armario, caseta o arqueta (con tapa de plástico o de hierro) y funciona con pilas de 9 V o con corriente de 24 V. Estos equipos están fabricados con materiales resistentes a actos vandálicos y cumplen un grado de protección IP68 (inundables).

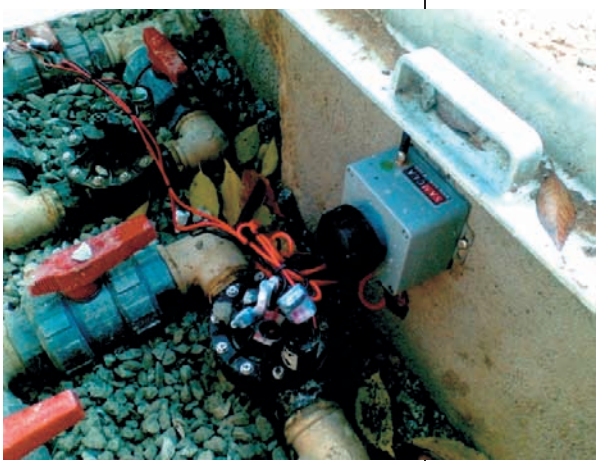


Foto 2. Equipo Terminal Remoto -función caudal- y -función programador-, ambos alimentados con pila de 9V. Fuente: Samcla

Equipo Repetidor

Equipo terminal remoto de reducidas dimensiones que actúa como puente de comunicación entre el equipo Concentrador y el Equipo Terminal Remoto. Este equipo se utiliza para sortear obstáculos, como por ejemplo edificios, y para transmitir la señal de Radiofrecuencia a largas distancias.

Foto 3. Equipo Repetidor alimentado por Energía solar. Fuente: Samcla

Equipo Concentrador

Equipo que transmite la información almacenada en el software de gestión a todos los Equipos Terminales Remotos. Este equipo se alimenta a 230 V e incorpora los sensores de lluvia, viento y temperatura.

Foto 4. Equipo Concentrador con sensores. Fuente: Samcla

5. CASO PRÁCTICO

Con las premisas de innovación, eficiencia y sostenibilidad, un Ayuntamiento llevará a cabo un pionero y ambicioso proyecto por el cual se implantará un sistema de telegestión para el control remoto de toda la red de riego de parques y jardines de la ciudad.

Los elementos claves del proyecto son:

- **SOSTENIBILIDAD**: En el nuevo contexto climático, dónde la gestión del agua y los recursos energéticos es primordial en muchos ámbitos de la sociedad, se hace necesaria la implantación de innovadores sistemas de gestión del riego que aporten un ahorro de recursos muy importante, tanto en el consumo de agua y energía, así como en el consumo de carburantes de vehículos y tiempo del personal de mantenimiento.

- **NUEVAS TECNOLOGÍAS**: Utilización de un innovador sistema de comunicaciones que permite actuar, mediante una plataforma tecnológica vía Internet, sobre todas las zonas verdes de la ciudad (alrededor de 300 zonas que cubren 370.000 m^2 de parques y jardines).

Otros objetivos planteados por el Ayuntamiento son:

— Obtener un importante ahorro en el consumo de agua y energía dedicada al riego de las zonas verdes.

— Facilitar la gestión, aportando servicio, comodidad y sobre todo, un gran ahorro de tiempo del personal de mantenimiento, en las tareas de cierre, apertura y programación de las zonas verdes en situaciones climatológicas adversas o de cambio.

— Posicionar la ciudad, dentro el marco de las nuevas tecnologías, al frente de los municipios promotores y usuarios de las TIC (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones).

— Aumentar el compromiso de la ciudad con el medio ambiente .

Dentro del ámbito metodológico, el proyecto se llevará a cambo en diferentes fases. Estas son:

FASE 1

— Contacto con ingenierías de sistemas de control especializadas en el sector.

— Análisis de la gestión del sistema de riego utilizado con anterioridad a la aplicación del nuevo sistema: metodología utilizada y recursos empleados.

— Propuesta de automatización integral del sistema de riego en todo el municipio.

FASE 2

— Presentaciónde la primera versión del diseño del sistema.

— Especificaciones de los protocolos de comunicación necesarios para el correcto funcionamiento del sistema en el municipio.

— Realización de pruebas test y fábrica en campo.

FASE 3

— Configuración y parametrización de la plataforma tecnológica (software de gestión) en función de las necesidades del Ayuntamiento.

— Instalación gradual del sistema de telegestión en 300 zonas verdes de la ciudad.

Finalmente, a nivel estrictamente económico, y a partir de los datos facilitados por los técnicos del municipio, así como empresas del sector, los resultados económicos de la implantación del sistema de telegestión han sido muy favorables. Así pues, en su detalle, estos serían.

DATOS BÁSICOS	
GESTIÓN DEL AGUA	
Zona verde sujeta a estudio:	370.000 m2
Consumo anual de agua destinada al riego (después telegestión)	150.000 m3
Consumo anual de agua destinada al riego (antes telegestión)	190.000 m3
Coste medio del m3 de agua	0,70 €/m3
GESTIÓN TAREAS DE MANTENIMIENTO	
Nº de zonas de riego	300 un.
Coste medio del personal de mantenimiento de zonas verdes	17,00 €/h
Coste medio de utilización de vehículos	1,15 €/h
Horas/año ahorradas según empresas	3.300 h

ESTUDIO ECONÓMICO

	Años de estudio			
	2010	2011	2012	2013
Ahorro consumo agua (m3)	40.000	50.000	55.000	55.000
Coste m3	0,65 €	0,70 €	0,75 €	0,90 €
Ahorro coste agua	**26.000,00 €**	**35.000,00 €**	**41.250,00 €**	**49.500,00 €**
Horas ahorradas en mantenimiento	3.300	3.500	3.500	3.700
Coste personal	17,00 €	17,34 €	17,86 €	18,75 €
Coste vehículos	1,15 €	1,17 €	1,21 €	1,24 €
Ahorro mantenimiento	**59.895,00 €**	**64.795,50 €**	**66.739,37 €**	**73.991,29 €**
Total ahorro	**85.895,00 €**	**99.795,50 €**	**107.989,37 €**	**123.491,29 €**

Inversión sistema de telegestión	**-290.000,00 €**

Retorno de la inversión	**3 años**

Conclusiones del estudio

Una vez valorado el ahorro obtenido en las diferentes partidas, podemos observar que, en el supuesto de una zona verde con unas 300

zonas de programación, la implantación de un sistema de telegestión aporta, de entre otras ventajas de ámbito cualitativo, un ahorro de agua y de dinero muy importante. Más aún, cuando la tendencia del coste del m^3 de agua es alcista para los próximos años.

Este ahorro de agua además está directamente ligado al ahorro de energía en las instalaciones municipales. Para determinar el ahorro energético será necesario realizar una auditoría energéticas del conjunto de las instalaciones de riego.

Efectivamente, la estimación del periodo de retorno de este tipo de inversiones (siempre sujetas a la evolución de determinadas partidas de coste y al importe final del proyecto) estaría al entorno de los 3 años.

Fundación de la Energía de
la Comunidad de Madrid

Energy Management Agency
Intelligent Energy Europe

www.fenercom.com

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO
IDAE
ahorra energía

Medida de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética para España (2004/2012) puesta en marcha por la Comunidad de Madrid, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).