

AGUA, RIEGO Y FERTIRRIGACIÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA



JUNTA DE ANDALUCÍA
Consejería de Agricultura y Pesca
Dirección General de Investigación y Formación Agraria

Agua, Riego y Fertirrigación

Autores:

Ricardo Ávila
Antonio Cabello
Javier Lirola
Antonio Martín
Francisco Ortíz

AGUA, RIEGO Y FERTIRRIGACIÓN

© JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Agricultura y Pesca

Publica: Dirección General de Investigación y Formación Agraria
Servicio de Publicaciones y Divulgación

Autor: Ricardo Ávila, Antonio Cabello, Javier Lirola, Antonio Martín y Francisco Ortiz

Depósito Legal: SE-2244-96

I.S.B.N.: 84-89802-00-9

Maquetación e Impresión: A. G. Novograf, S. A. (Sevilla)

PRESENTACIÓN

Ante la evolución constante del sector agrario y la demanda de los agricultores/ganaderos para incorporarse a los sectores productivos, se establecen los mecanismos legales que permiten realizar, desde la Consejería de Agricultura y Pesca, una oferta formativa que contribuya a la viabilidad del proceso de modernización de las explotaciones agrarias.

El programa que hace posible esta formación, se denomina "Incorporación y/o Modernización de la Empresa Agraria". Este programa se dirige a diecinueve sectores productivos y está estructurado en forma modular para facilitar la asistencia de los agricultores/ganaderos.

La formación está ajustada a cada sector, existiendo unos módulos comunes, de formación empresarial, que tratan los temas generales, y que son necesarios para el conocimiento y gestión de cualquier explotación, y otros específicos de cada sector que tratan sobre aspectos productivos.

El uso correcto del agua es vital para todas las explotaciones de regadío y en Andalucía la disponibilidad de este recurso es una de las principales limitantes de la producción.

Dada la importancia de estos temas y el número tan elevado de alumnos a los que se dirigen, la Dirección General de Investigación y Formación Agraria ha considerado necesario publicar un compendio de los aspectos teóricos y prácticos que se imparten en las clases, con el fin de dar a los alumnos un manual de consulta y de trabajo en aulas, y un marco común de referencia para el profesorado.

Se ha intentado usar un lenguaje sencillo y cercano al alumno, en un formato de composición ameno.

Este módulo que nos ocupa, "**Agua, riego y fertirrigación**" es el resultado del trabajo de los profesores que lo han impartido en años anteriores, y las actualizaciones, cambios e innovaciones, así como el esfuerzo de reunir la información, de los profesores implicados actualmente en su desarrollo e impartición.

El equipo de profesores que ha redactado el citado módulo es:

Ricardo Ávila Albareces (coordinador)
Antonio Cabello Torralbo
Javier Lirola Peralta
Francisco Ortiz Berrocal

Este trabajo de compilación y de redacción se verá ampliamente gratificado si estos apuntes contribuyen a mejorar la formación de los agricultores andaluces.

El Director General de Investigación y Formación Agraria
Francisco Nieto Rivera

AGUA, RIEGO Y FERTIRRIGACIÓN	9
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. El Regadío: Situación Actual	11
1.2. Evolución Histórica de la superficie regable en Andalucía	11
1.3. Distribución provincial de los regadíos andaluces en función del grado de dotación	12
1.4. El aspecto social de los regadíos	13
1.5. La escasez de recursos hídricos en Andalucía.....	14
1.6. El coste del agua	14
1.7. El futuro de los regadíos andaluces.....	15
1.8. Riego localizado	16
2. EL AGUA DE RIEGO.....	17
2.1. Introducción	17
2.2. Procedencia del agua de riego.....	17
2.3. Toma de muestras y análisis de aguas	18
2.4. Calidad del agua de riego.....	18
2.5. Manejo del riego en condiciones salinas	23
Resumen	28
3. NECESIDADES HÍDRICAS DE LAS PLANTAS	29
3.1. Agua necesaria de un cultivo.....	30
3.2. Cálculos de la ETo y Kc.....	30
3.3. Fases de cultivo	34
3.4. Algunos datos que pueden hacer variable la ETC.....	38
3.5. Cálculo de las necesidades de riego	38

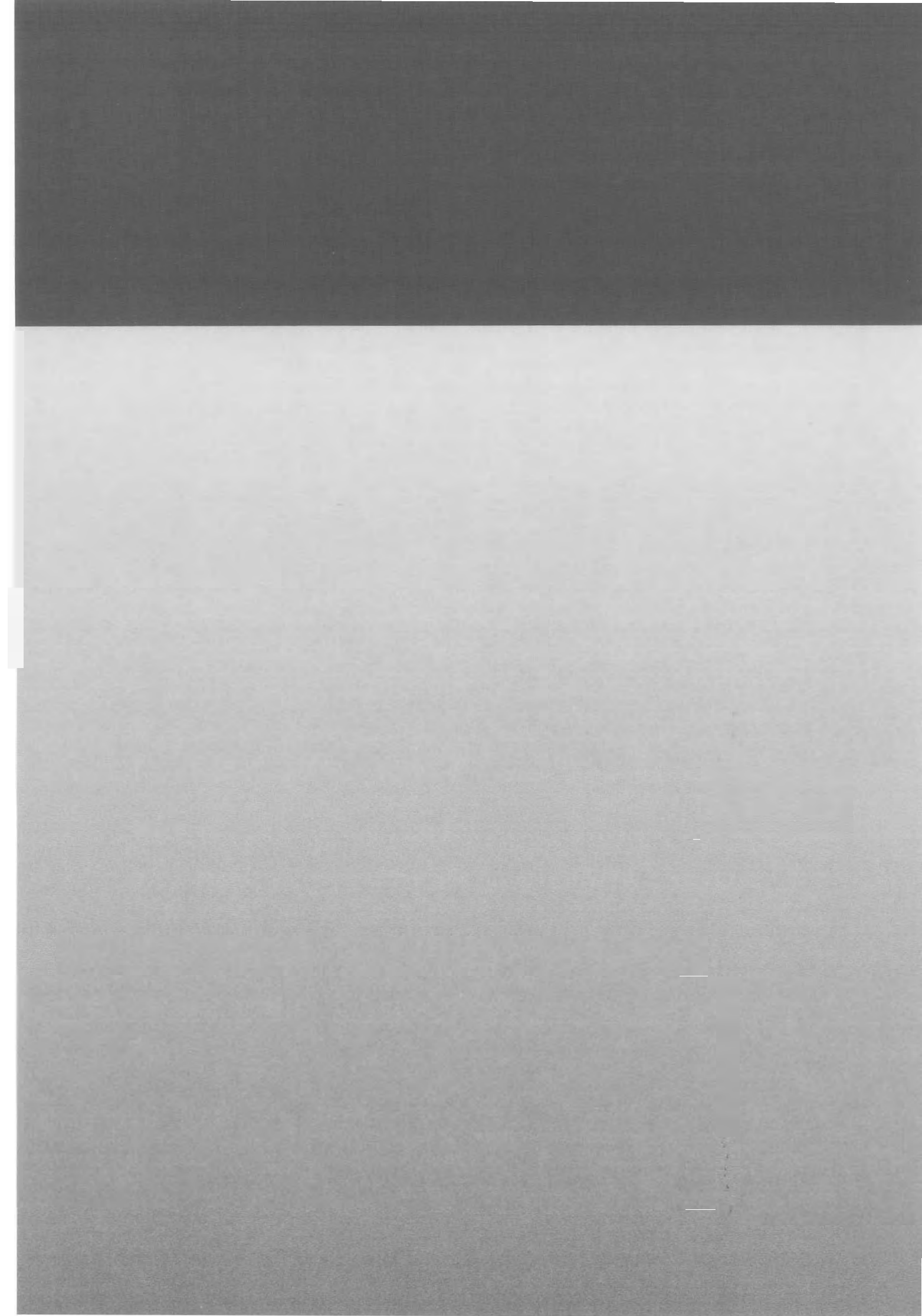
4. PRINCIPIOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA APLICADA AL R.L.A.F.	41
4.1. Presión (P)	41
4.2. Pérdida de carga (PC)	41
4.3. Cálculo de la altura de trabajo.....	42
Anexo I	43
5. EMBALSES PARA RIEGO	43
5.1. Elección del emplazamiento.....	43
5.2. Tipos de embalses	44
5.3. Formas y medidas de embalses enterrados.....	45
5.4. Cálculo del volumen de un embalse	45
5.5. Obras complementarias	46
6. IMPULSIÓN	49
6.1. Alturas de elevación	49
6.2. Bombas Centrífugas	51
6.3. Datos elementales que deben tenerse en cuenta al instalar la bomba	55
7. CABEZALES DE RIEGO	57
7.1. Introducción.....	57
7.2. Prefiltrado	57
7.3. Filtrado	59
7.4. Equipos de Fertirrigación.....	64
8. TUBERÍAS	65
8.1. Materiales.....	65
8.2. Presión Nominal (Pn).....	65
8.3. Presión de trabajo (Pt)	65
8.4. Unidades de presión	66
8.5. Diámetro nominal	66
8.6. Tuberías de PVC	66
8.7. Tuberías de polietileno	67
9. EMISORES	68
9.1. Introducción	68
9.2. Relación Caudal-Presión.....	69

9.3. Sensibilidad a las obturaciones	70
9.4. Coeficiente de variación de fabricación (C.V.).....	71
9.5. Identificación del emisor	72
9.6. Clasificación de emisores	72
10. VÁLVULAS Y ELEMENTOS SINGULARES.....	77
10.1. Válvulas manuales	77
10.2. Válvulas automáticas	77
10.3. Válvulas ventosas	80
10.4. Contadores.....	82
10.5. Caudalímetros o rotámetros.....	82
10.6. Manómetros	82
10.7. Presostatos.....	82
11. SISTEMAS DE FERTILIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN	82
11.1. Sistemas de fertilización	82
11.2. Automatización del riego por goteo.....	87
12. DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO	91
12.1. Introducción.....	91
12.2. Diseño agronómico.....	91
12.3. Diseño hidráulico	95
12.4. Cálculos hidráulicos	97
13. FERTIRRIGACIÓN	111
13.1. Introducción.....	111
13.2. Sales fertilizantes	113
13.3. Soluciones nutritivas	117
13.4. Casos prácticos de fertilización.....	119
14. MANEJO DE EQUIPOS	134
14.1. Lavado a fondo recién montada	134
14.2. Revisiones de principio de temporada	134
14.3. Revisiones frecuentes.....	135
14.4. Manejo del fertirriego.....	136
14.5. Aplicación de ácidos	136

14.6. Limpieza fin de temporada.....	137
14.7. Manejo en caso de lluvia.....	137
14.8. Consideraciones generales sobre el pH	137
14.9. Actuaciones convenientes para la prevención de obstrucciones.....	138
15. DETERMINACIÓN DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (C.U.)	
DE UN SISTEMAS DE RIEGO	139
15.1. Realización de la práctica de toma de datos de caudal para el control de un sector.....	140
15.2. Cálculo de C.U. de caudales de un sector riego	140
15.3. Posibles causas de la baja uniformidad	141
15.4. Corrección de la dotación de agua en función al C.U.	141
Anexo I.....	143
16. OTROS SISTEMAS DE RIEGO	144
16.1. Riego superficial.....	144
16.2. Riego por aspersión	146
BIBLIOGRAFÍA	153

I

Agua, Riego y Fertirrigación



1. Introducción

El regadío es una práctica cultural de climas áridos, que ha sido desarrollada por todas las culturas que han tenido que transformar a la naturaleza para sobrevivir en condiciones de escasez de lluvia, o que ésta sea muy irregular. En nuestro clima el riego permite intensificar o asegurar los cultivos de invierno, producir en verano cultivos imposibles en las extremas condiciones del secano y en las últimas décadas ha permitido aprovechar el suave clima invernal de nuestras costas para conseguir producciones hortícolas extratempranas, de elevado valor en los mercados.

Quizás por lo enraizado que está en nuestra cultura el valor del agua, las políticas colonizadoras y de transformación en regadío, se han ido perpetuando hasta nuestros días con una serie de elementos comunes:

- fuerte participación de la iniciativa pública, en la transformación en regadío
- valoración de los regadíos como una "política de estado" en el que han primado siempre los aspectos de aumento de la producción agraria, los territoriales y los sociales y muy raramente los de economía de los regadíos.

Es necesario, hoy, hacer una reflexión sobre el futuro del regadío, partiendo de unas coordenadas muy distintas a las que se han utilizado hasta ahora. En nuestro entorno europeo se producen excedentes, la población rural es escasa, tenemos escasez de recursos hídricos y algunas actuaciones ligadas a los regadíos pueden producir impactos medioambientales no admisibles.

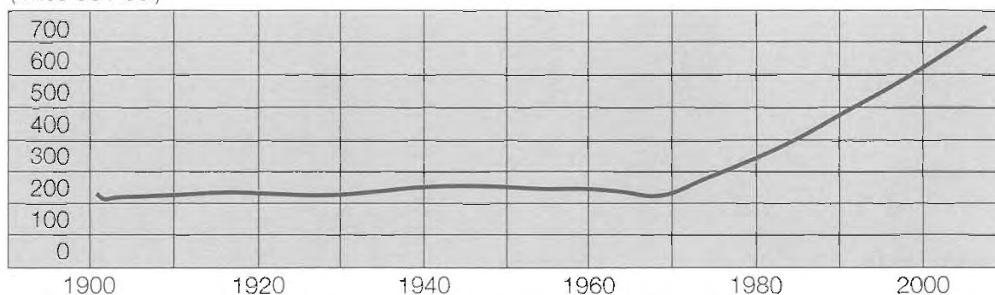
El nuevo plan de regadíos de Andalucía debe ser el instrumento que potencie consensuadamente con los agricultores los regadíos dentro del marco de una agricultura sostenible.

1.1. El Regadío: Situación Actual

La rentabilidad del regadío para el agricultor en las circunstancias en que se encontraba la agricultura hasta la Reforma de la PAC, unido al fuerte apoyo público mediante la creación de infraestructuras de regulación y transporte del agua, y en muchos casos la promoción pública de los regadíos así como una alta subvención en el precio del agua, ha propiciado un rápido aumento de nuestros regadíos desde la década de los años 50, pasando de 250.000 Has, a las 668.000 Has actuales, lo que representa el 16% del territorio de cultivo andaluz.

1.2. Evolución Histórica de la Superficie Regable en Andalucía

Superficie
(miles de Has.)



Están transformadas en regadío las siguientes superficies:

CUENCA	MILES DE Has.	DEMANDA NETA (hm ³ /año)
Guadalquivir	443	2.874
Guadalete y Barbate	40	223
Sur	160	827
Guadiana II	20	115
Segura	5	32
TOTAL ANDALUCÍA	668	4.070

Aunque en el conjunto de Andalucía predominan los regadíos cuya procedencia de las aguas es de origen superficial frente a las subterráneas, en la cuenca del Sur hay una preponderancia de estas últimas.

PROVINCIA	REGADÍO miles Ha	PROCEDENCIA SUPERFICIAL %	DEL AGUA SUBTERRÁNEA %	PROMOCIÓN PÚBLICA %	PROMOCIÓN PRIVADA %
Almería	75	38	68	35	56
Cádiz	41	78	22	63	37
Córdoba	86	87	13	52	48
Granada	97	81	19	14	86
Huelva	22	17	83	16	84
Jaén	108	89	11	38	62
Málaga	60	50	50	34	66
Sevilla	179	76	24	67	33
ANDALUCÍA	668	72	28	45	55

La demanda hídrica bruta de los regadíos se estima en 4.785 Hm³/año, de las que retornan a los acuíferos o a los cauces del orden del 15%, con lo que la demanda neta representa unos 4.700 Hm³/año.

Pero no todos los regadíos andaluces disponen en un año medio de la dotación de agua necesaria para el desarrollo de los cultivos, lo que se traduce en una disminución de los rendimientos.

1.3. Distribución Provincial de los Regadíos Andaluces en Función del Grado de Dotación

Almería	80%	DOTACIÓN INSUFICIENTE
Cádiz	38%	
Córdoba	35%	
Granada	50%	
Huelva	75%	
Jaén	40%	DOTACIÓN SUFICIENTE
Málaga	73%	
Sevilla	40%	
ANDALUCÍA	48%	

1.3.1. La Distribución del Agua en los Regadíos Andaluces entre los Sistemas de Gravedad, Aspersión y Riego Localizado está muy ligada a la Tecnología Disponible y queda como sigue:

	Gravedad	Aspersión	Localizado
Almería	57%	3%	40%
Cádiz	25%	60%	15%
Córdoba	45%	45%	10%
Granada	85%	10%	5%
Huelva	10%	20%	70%
Jaén	55%	15%	30%
Málaga	55%	10%	35%
Sevilla	55%	30%	15%
ANDALUCÍA	55%	25%	20%

1.3.2. La Producción de los Regadíos

Las variaciones climáticas, dentro de nuestro común clima mediterráneo, permite gran variedad de tipología de los regadíos andaluces y un amplio abanico de producciones.

GRUPO DE CULTIVOS MÁS REPRESENTATIVOS DE LOS REGADÍOS ANDALUCES

GRUPOS DE CULTIVOS	%
Cereales	28%
Forrajeras	3%
Algodón	18%
Remolacha	5%
Olivar	15%
Frutales	12%
Hortícolas	19%

1.4. El Aspecto Social de los Regadíos

Tradicionalmente se ha considerado al regadío como un elemento dinamizador de las zonas rurales, tanto desde la perspectiva económica y de desarrollo de nuevas actividades ligadas a la comercialización y transformación de la producción agraria y a los servicios, como desde la óptica de la generación de empleo y redistribución de la propiedad.

El empleo que generan los cultivos de regadío, al ser bastante proporcional las necesidades de mano de obra al valor de la producción agraria, tanto en el secano como en el regadío, representa algo más de la mitad de los 223.000 empleos agrarios, e indirectamente, de los 74.000 empleos de la industria agroalimentaria.

1.5. La Escasez de Recursos Hídricos en Andalucía

El déficit estructural de recursos hídricos obliga a diseñar una estrategia que permita corregir la situación actual incidiendo especialmente en el agua con destino agrícola pero sin olvidar usos como el abastecimiento urbano, turístico, industrial y ecológico, de enorme importancia en Andalucía.

RECURSOS HÍDRICOS DE ANDALUCÍA	mm./año	% respecto pluviometría	m ³ /hab. y año	Hm ³ /año
Pluviometría	594	100	7.469	51.837
Escorrentía	150	25.3	1.886	13.090
Recursos regulados actuales	54	9.1	680	4.803
Regulación máxima futura	75	12.8	943	6.321

Hidrologicamente Andalucía está dividida entre la cuenca del Guadalquivir (60% del territorio) y un rosario de pequeñas cuencas independientes que vierten directamente al litoral atlántico y mediterráneo, con características bastante distintas en cuanto a la utilización de recursos:

	Guadalquivir	Cuencas litorales	Total Andalucía
Recursos disponibles (Hm ³ /año)	3.099	1.704	4.803
Demandas actuales (Hm ³ /año)	3.588	1.866	5.454
Déficit global (Hm ³ /año)	-489	-162	-651
Suma de déficit locales (Hm ³ /año)	-526	-419	-945
Déficit global/Recursos (%)	15.8	9.5	13.5
Suma déficit locales/Recursos (%)	17.0	22.4	19.7

1.6. El Coste del Agua

Para regular el uso de un bien escaso como el agua, el precio de mercado debe ser un referente inexcusable, si bien no el único por razón de su importancia estratégica para toda la sociedad.

Muy pocos estudios se han realizado sobre el coste del agua tanto para el sector público como para el privado, salvo recientemente en la faceta de los costes de potabilización y depuración de agua de abastecimiento.

En 1988 la Consejería de Obras Públicas y Transportes, en el documento "El agua en Andalucía. Una política de futuro", fijaba un coste del agua del agua destinada a regadío en 13.8 ptas./m³, y la correspondiente a los abastecimientos en unas 40 ptas./m³. El mismo documento reflejaba que el canon de regulación y tarifa de riego que las Confederaciones Hidrográficas cobraban a los regantes era de 1.34 ptas/m³. Lo que suponía una subvención implícita del 90%; en cambio las tarifas de agua para abastecimiento que soportaban los municipios estaban en torno a las 30 ptas/m³, con una subvención del 25%.

Una estimación actualizada de los costes del agua para regadíos de promoción pública, refleja substancialmente los mismos resultados del documento anterior.

COSTES DE UTILIZACIÓN DEL AGUA PARA REGADÍO

PROMOTOR	TIPO DE OBRA	INVERSIÓN (MILES PTS/HA.)	COSTE ANUAL PTS/M ³ .
MOPTMA	Regulación Transporte y distribución en alta	490	4'19
		600	7'39
	SUBTOTAL	1.090	11'58
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA	Red de riego hasta parcela	650	8'46
	TOTAL INVERSIÓN PÚBLICA	1.740	20'04
AGRICULTOR	Red de parcela y equipo de riego	200	3'20
	TOTAL INVERSIÓN DEL REGADÍO	1.940	23'24
Mano de obra para riego			2'86
Energía para impulsión de H metros			0'056 x (H)
COSTE TOTAL DEL USO AGUA			26'1+0'056 x (H)

Los regadíos privados con aguas subterráneas representan el otro extremo en el reparto de costes, que son prácticamente asumidos en su totalidad por el agricultor, aumentados si cabe con importantes elevaciones del agua desde los sondeos, que pueden alcanzar para una profundidad común de unos 100 m. Otras 5.6 ptas/m³

1.7. El Futuro de los Regadíos Andaluces

La variedad de regadíos, por sus condiciones climatológicas y de suelos, por su orientación productiva y por la estructura de las explotaciones, hace imprescindible, dentro de señalar tendencias generales, buscar soluciones de futuro adaptadas a cada tipo de regadíos. Pero no pasarían de buenas intenciones las propuestas que miraran hacia soluciones basadas únicamente en el reequilibrio del balance hídrico, por lo lento que resultan llevar a cabo las grandes actuaciones de infraestructura hidráulica, aun en el supuesto del consenso en su necesidad.

A corto plazo la situación de la agricultura y la gestión de recursos hídricos estarán marcados por una serie de escenarios difícilmente modificables:

a) Se mantendrá la fuerte demanda de regadíos, como factor para aumentar la rentabilidad agraria.

b) Presumiblemente aumentaran las penalizaciones de la Unión Europea al exceso de producción de los cultivos incluidos en alguna O.C.M.

c) Se mantendrá la situación de escasez de recursos hídricos destinados al regadío, con reproducción de ciclos de insatisfacción de las necesidades de los cultivos similares a las que se han producido en los últimos quince años.

d) Las limitaciones agronómicas, económicas y medioambientales desaconsejaran muchas transformaciones de secano a regadío, tanto públicas como privadas.

1.7.1. Actuaciones Probables

1) Deberá acercarse el precio del agua, para todos sus usos, a los precios de coste para el sector público. Una vez fijado el precio para cada tipo de demanda podría fijarse una escala de bonificaciones o recargos en función de variables ligadas a la rentabilidad y los intereses generales.

2) Una política de fomento de la modernización de los regadíos encauzada al ahorro de agua, y a la modificación de las concesiones.

3) El abandono de los regadíos, política incentivada por la U.E., debería ser prioritario en las áreas de menor rentabilidad.

4) En años de sequía debería fomentarse, previa modificación legislativa y con el control del Organismo de cuenca, el intercambio temporal de dotaciones entre zonas de riego, con la correspondiente compensación económica.

1.8. Riego Localizado

Dentro de las actuaciones posibles y a través del fomento de la modernización de los regadíos tenemos el claro ejemplo del riego localizado en lo que sería economía y mejora de riegos. En los próximos capítulos dedicaremos una extensa cobertura a este tipo de riego, en todos los aspectos, tanto hidráulicos, como agronómicos, como de manejo, etc.

Dentro de este sistema tenemos las siguientes ventajas e inconvenientes.

Ventajas:

1. Ahorro importante de agua, mano de obra, productos fitosanitarios y abonos.
2. Posibilidad de regar cualquier tipo de terrenos, por accidentados o pobres que sean.
3. Utilización de agua de peor calidad.
4. Aumento de producción, adelantamiento de las cosechas y mejor calidad de las mismas.
5. Permite simultanear con otras labores, al estar el suelo seco.
6. No altera la estructura del suelo.

Inconvenientes:

1. Es caro de instalar.
2. Si se proyecta o instala mal, puede ocasionar pérdidas de cosechas, por falta de agua o nutrientes, pudiendo llegar en casos a tener menor eficiencia que los sistemas tradicionales de riego.
3. Si no existe posibilidad de lavado del terreno, el uso sistemático de aguas de mala calidad puede acabar contaminando los terrenos de cultivo.

4. Obstrucción de los goteros por las partículas que arrastra el agua.

5. Se precisa una mayor cualificación por parte de los usuarios que en cualquier otro sistema de riego

Por último indicar que existen dos tipos de riego localizado: **subterráneo** muy poco extendido, por los problemas que presenta en raíces y labores; y **superficial**, al cual vamos a dedicar los temas siguientes.

2. El Agua de Riego

2.1. Introducción

A la hora de realizar una puesta en riego el agua constituye el principal factor limitante. En este sentido, hay dos aspectos que el agricultor nunca deberá olvidar: el caudal disponible y la calidad del agua a utilizar.

El caudal nos indica el volumen de agua disponible en la unidad de tiempo (litros/segundo, m³/hora, ...). En función de las necesidades netas de riego de nuestro cultivo y del sistema de riego elegido, el caudal determinará cuál es la superficie máxima a regar.

La calidad del agua de riego comprende una serie de aspectos o características físicas y químicas que condicionan el que el agua sea apta para el riego.

Aunque el análisis químico del agua de riego resulta esencial para evaluar su calidad agronómica, no podemos olvidar que la aptitud final del agua de riego vendrá condicionada también por otros factores como: sistema de riego, cultivo a regar, tipo de suelo y manejo del riego.

2.2. Procedencia del Agua de Riego

Tradicionalmente, las aguas de riego más utilizadas han sido las aguas superficiales (embalses, ríos,...). Presentan el inconveniente de escasear, precisamente, en los meses del año en que son más importantes las demandas de riego, de ahí que en muchos casos el agricultor se decida por la construcción de embalses para uso propio.

Las aguas superficiales suelen tener una temperatura bastante similar a la de la atmósfera. Son ricas en gases (oxígeno) y llevan sustancias minerales y orgánicas en solución y suspensión, siendo cada vez más elevado el riesgo de contaminación como consecuencia de la actividad humana.

La insuficiencia de las aguas superficiales ha obligado al agricultor a buscar y alumbrar el agua almacenada en horizontes profundos del suelo (acuíferos).

Estas aguas subterráneas se caracterizan por tener una temperatura muy uniforme durante todo el año, resultando generalmente frías en invierno. Son pobres en gases disueltos, así como en sustancias minerales y orgánicas en solución y suspensión, presentando menores riesgos de contaminación que las aguas superficiales.

En las aguas captadas de venas (acuíferos) que discurren por calizas se observa un mayor contenido de calcio en invierno que en verano. Cuando las venas atraviesan estratos ricos en sales solubles, puede darse un aumento de la concentración total de sales en verano.

En el caso de pozos próximos a un río se puede observar que a medida que se intensifican las extracciones la composición del agua se asemeja cada vez más a la del río, o en sondeos cercanos al litoral, en donde los acuíferos sobreexplotados son invadidos por aguas marinas.

2.3. Toma de Muestras y Análisis de Aguas

Para evaluar la aptitud del agua de riego se requiere tomar una muestra de la misma y su envío a un laboratorio para su análisis. Normalmente la responsabilidad de tomar la muestra recae en el agricultor, de ahí que sea conveniente no olvidar los siguientes consejos:

1. El envase ha de ser de vidrio o plástico. Debe estar bien limpio. En el caso de un análisis ordinario, con 1 ó 1,5 litros de agua es suficiente.
2. En el caso de aguas corrientes se deben muestrear varios puntos, a medio fondo y nunca en lugares donde la corriente no sea normal. Estas submuestras se mezclan en un cubo para obtener la muestra final que se enviará al laboratorio.
3. En pozos es conveniente arrancar el grupo de bombeo y esperar varios minutos antes de tomar la muestra.
4. Asegurar bien el tapón y tomar las precauciones oportunas a la hora de embalar el recipiente, especialmente cuando sea de vidrio.
5. Cumplimentar el escrito de remisión donde se refleje la siguiente información: procedencia, persona que hace el envío, aprovechamiento del agua, tipo de análisis que se solicita, etc.
6. Enviar la muestra al laboratorio lo antes posible.

En el caso de un análisis ordinario de agua para uso agrícola, los parámetros a determinar por el laboratorio suelen ser los siguientes:

1. pH
2. Conductividad eléctrica
3. Carbonatos
4. Bicarbonatos
5. Cloruros
6. Sulfatos
7. Nitratos
8. Calcio
9. Magnesio
10. Potasio
11. Sodio
12. Amonio
13. Boro
14. Hierro

2.4. Calidad del Agua de Riego

A la hora de evaluar la calidad del agua de riego se suelen seguir 4 tipos de criterios básicos:

1. Salinidad (contenido total de sales)
2. Sodicidad (peligro de sodio)
3. Toxicidad
4. Otros criterios

2.4.1. Salinidad (contenido total de sales)

El agua de riego siempre lleva sales disueltas. Si el contenido de estas sales es elevado, las plantas encuentran más dificultad para absorber agua del suelo. Esta circunstancia se puede traducir en una disminución de la cosecha, tanto mayor cuanto más sensible sea el cultivo en cuestión.

Para evaluar de una forma rápida el contenido de sales en el agua se recurre a determinar su Conductividad Eléctrica (CEa), que suele venir expresada en milimhos/cm (mmhos/cm) ó en micromhos/cm (μ mmhos/cm).

∇ La equivalencia entre ambas unidades es:

$$1 \text{ mmhos/cm} = 1.000 \text{ } \mu\text{mmhos/cm}$$

Para determinar el valor de CEa se emplea un instrumento llamado conductivímetro. Su resultado siempre se refiere a 25 °C , y su valor será tanto mayor cuantas más sales contenga el agua.

Una vez conocido el valor de CEa, el Contenido Total de Sales (C.T.S.) de la muestra se puede estimar de la siguiente forma:

$$\text{C.T.S. (gramos/litro)} \approx 0,64 \times \text{CE}_a \text{ (milimhos/cm)}$$

En el mercado existen conductivímetros de bolsillo que por su bajo coste están al alcance del agricultor y que, a pesar de que no son muy precisos, constituyen un instrumento eficaz para vigilar la salinidad del agua de riego.

Si queremos conocer con precisión la salinidad real del agua de riego es necesario que el laboratorio determine el contenido de cada una de las diferentes sales (cationes y aniones). En este caso la salinidad vendrá determinada por la suma de las cantidades disueltas de las diferentes sales.

Para cualquier sal, su concentración (cantidad de sal disuelta en un volumen determinado de agua) suele venir expresada en miliequivalentes/litro (meq/l), debiéndose cumplir que la suma de cationes en meq/l sea muy similar a la de aniones.

Para expresar el resultado en miligramo/litro (mg/l.) tan solo habrá que multiplicar el valor en miliequivalente/litro (meq/l) por un factor que se refleja en la tabla siguiente y que como puede observarse, depende del tipo de sal.

Sal (anión/catión)	Factor
Carbonatos $\text{CO}_3^{=}$	30,00
Bicarbonatos CO_3H^+	61,00
Cloruros Cl^-	35,46
Sulfatos $\text{SO}_4^{=}$	48,03
Nitratos NO_3^-	62,00
Calcio Ca^{++}	20,04
Magnesio Mg^{++}	12,16
Sodio Na^+	23,00
Potasio K^+	39,10
Amonio NH_4^+	18,00
Boro	10,80
Fósforo	31,00

Atendiendo al valor de CE_a podemos establecer la siguiente clasificación que fue propuesta en 1972 por el Comité de Consultores de la Universidad de California:

Clasificación de las aguas de riego basadas en la CE_a a 25 °C		
Índice de salinidad	CE_a (mmhos/cm)	Riesgo de salinidad
1	< 0,75	Bajo
2	0,75 - 1,5	Medio
3	1,5 - 3	Alto
4	> 3	Muy alto

2.4.2. Sodicidad (peligro de sodio)

El sodio (Na^+) es uno de los elementos más frecuentes del agua de riego. Aunque no es esencial para los cultivos, un contenido alto de este catión en el agua puede afectar negativamente a la estructura del suelo.

Para evaluar la Sodicidad del agua de riego se emplea el índice RAS (Relación de Adsorción de Sodio) que hace referencia a la proporción relativa en la que se encuentran el sodio frente a cationes como calcio y magnesio que contrarrestan el efecto negativo del sodio (especialmente el calcio).

El RAS se determina fácilmente si conocemos las concentraciones en meq/l de sodio, calcio y magnesio del agua de riego. La fórmula a emplear es la siguiente:

$$\text{RAS (SAR)} = \frac{\text{Sodio}}{\sqrt{\frac{\text{Calcio} + \text{Magnesio}}{2}}}$$

Cuanto mayor sea este valor, mayor será el peligro de degradación del suelo. Conviene no confundir el RAS del agua de riego (RASar) con el RAS del suelo (RASss).

Hoy se sabe que se pueden admitir valores más altos del RAS a medida que aumenta la salinidad del agua, ya que el efecto dispersante del sodio sobre el suelo se ve contrarrestado por altas concentraciones de sales que preservan su estructura.

A medida que disminuye el contenido de agua en el suelo, las sales existentes en el mismo se van concentrando cada vez más. Esta circunstancia favorece que el calcio y el magnesio precipiten formando carbonato y bicarbonato cálcico y magnésico, así como sulfato cálcico (yeso).

Este hecho trae consigo que la proporción de sodio aumente y con ello el peligro de que el suelo se degrade. Para tener en cuenta esta posibilidad el laboratorio determina el RAS ajustado (RAS ad), que aporta más información.

Clasificación del agua en función del RAS_{ad} y la CE_a (FAO)

RAS _{ad}	CE _a (mmhos/cm)	Diagnóstico
< 6	> 0,50	Sin problemas
6 - 9	0,50 - 0,20	Problema posible
> 9	< 0,20	Problema grave

2.4.3. Toxicidad

La presencia en el agua de riego de algunos elementos (cloro, sodio, boro,...) puede producir síntomas de toxicidad en algunos cultivos al sobrepasar ciertas concentraciones.

Conviene no olvidar que estos problemas de toxicidad son específicos para un determinado elemento y un cultivo en particular.

A modo indicativo se exponen las siguientes directrices para interpretar la calidad de las aguas de riego:

Elemento	Toxicidad de Iones Específicos		Problema
	Nivel		
Boro (B)	< 0,7	mg/l	Nulo
	0,7 - 3,0	mg/l	Creciente
	> 3,0	mg/l	Grave
Sodio (Na)	SAR _{ad}	<3	Nulo
	SAR _{ad}	3 - 9	Creciente
	SAR _{ad}	> 9	Grave
Cloro (Cl)	< 4,0	meq/l	Nulo
	4,0 - 10	meq/l	Creciente
	> 10	meq/l	Grave

Fuente: Ayers y Westcot. (1.987)

En el caso de que el agua se aplique por aspersión sobre el cultivo, las concentraciones de sodio y cloro no deberán sobrepasar los 3 meq/l.

2.4.4. Otros Criterios

2.4.4.1. Dureza

El grado de dureza del agua hace referencia a sus contenidos en calcio y magnesio. Su resultado se expresa en grados hidrométricos franceses. Para su cálculo se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Dureza} = \frac{(\text{mg/l Ca}^{++} \times 2,5) + (\text{mg/l Mg}^{++} \times 4,12)}{10}$$

Grados franceses	Tipo de agua
< 7	Muy dulce
7-14	Dulce
14-22	Medianamente dulce
22-32	Medianamente dura
32-54	Dura
> 54	Muy dura

En general, las aguas muy duras son poco recomendables en suelos fuertes y compactos. Sin embargo, su uso está muy indicado en la recuperación de suelos sódicos.

A partir de 50 hf (o °F) pueden presentarse problemas de obturaciones en riego por goteo.

2.4.4.2. Peligro de obturaciones

Tipo de obturación	Peligro de obturaciones		
	Bajo	Medio	Alto
• Física Partículas en suspensión (mg/l)	50	50-100	>100
• Química pH	7	7-8	>8
Hierro (mg/l)	0,1	0,1-1,5	>1,5
Magnesio (mg/l)	0,1	0,1-1,5	>1,5
Calcio (mg/l)	10	10-50	>50
Carbonatos (mg/l)	100	100-200	>200
• Biológica Bacterias/cm ³	10 ⁴	10.000-50.000	>5x10 ⁴

2.4.4.3. pH (aconsejable)

- Para equipos de riego: 6-7

2.4.4.4. Sulfatos

Valores superiores a 300-400 mg/l pueden producir problemas de corrosión en tuberías.

2.5. Manejo del Riego en Condiciones Salinas

Aunque los rendimientos con aguas salinas no son superiores a los obtenidos con aguas de mejor calidad, con el riego localizado se consiguen mejores rendimientos que con otros sistemas de riego.

En los sistemas de riego localizado de alta frecuencia, la distribución de sales en el suelo al utilizar aguas salinas varía bastante con respecto a los sistemas de riego por aspersión y gravedad.

Esta distribución de las sales en el suelo (para unas condiciones dadas de clima, suelo y agua) va a depender fundamentalmente del caudal unitario del gotero, de la dosis de riego y de la separación existente entre los goteros.

El agua se difunde tanto en profundidad como lateralmente, produciéndose una acumulación de sales en la superficie del suelo o a poca profundidad, así como en la periferia del bulbo húmedo.

2.5.1. Situación del Gotero en la Instalación de Riego

En este sentido es conveniente procurar que al diseñar la instalación de riego localizado se consiga un solape suficiente (15-20 %) entre goteros para que se forme una franja húmeda continua en la línea de riego. En el caso de marcos de plantación en líneas pareadas se deberá colocar un ramal de goteo para cada línea de plantas.

2.5.2. Dosis y Frecuencia de Riego

En los riegos localizados se produce una acumulación de sales en la periferia de las superficies humedecidas, siendo insuficiente el lavado de sales. Por este motivo y especialmente cuando empleamos aguas salinas, es conveniente realizar aportaciones adicionales de agua con el fin de desplazar el frente salino de la periferia a mayor distancia del punto de goteo y conseguir de este modo aumentar el volumen de suelo explorado por las raíces.

Estas aportaciones extras de agua se deben completar con prácticas de lavado al final de cada campaña, especialmente en cultivos de invernadero donde el lavado natural por agua de lluvia no se produce. En este caso es conveniente que al diseñar la instalación de riego localizado se contemple la posibilidad de usar técnicas de lavado complementarias como la aspersión o el riego de superficie.

De todos es conocido que el riego localizado permite el uso de aguas de dudosa calidad siempre que se haga un buen manejo del mismo. La clave del éxito de este sistema de riego se encuentra en mantener una humedad disponible elevada a disposición de las raíces mediante la aplicación de riegos frecuentes, tanto más frecuentes cuanto más arenoso sea el suelo.

Finalmente, no se debe olvidar que el uso de aguas salinas exige un buen drenaje (natural o artificial) del suelo que permita la eliminación de sales en profundidad. Como referencia se recomienda una permeabilidad superior a 25 mm/h.

2.5.3. Lluvia y Manejo del Riego

Aunque pueda resultar extraño, en el caso de cultivos al aire libre conviene regar cuando se produzcan lluvias débiles, con el fin de evitar que las sales acumuladas en la periferia de las superficies humedecidas puedan desplazarse hacia la zona radical del cultivo.

2.5.4. Fertilización

Los cultivos hortícolas requieren grandes cantidades de fertilizantes, especialmente si se cultivan en invernadero donde las producciones son muy elevadas. En ocasiones el agua de riego posee altas concentraciones de elementos esenciales para el cultivo (potasio, calcio, nitrógeno,...), de ahí que a la hora de realizar un plan de abonado deban contemplarse las aportaciones de nutrientes debidas al agua de riego.

En los sistemas de riego localizado, la fertilización y el riego se realizan conjuntamente (fertirrigación), por lo que debe prestarse especial interés cuando utilizamos aguas de mala calidad.

La adición de fertilizantes al agua de riego nos va a producir un aumento de la conductividad eléctrica del agua, por lo que habrá que aplicar fertilizantes con bajo índice de salinidad y efectuar aportaciones de forma regular para evitar dosis elevadas.

La acumulación de sales retrasa la evolución de la materia orgánica, de ahí que en estos casos esté recomendado el uso de estiércoles bien descompuestos.

2.5.5. Otras Recomendaciones

La germinación y el estado de plántula son estados críticos en los que se reduce la tolerancia del cultivo a la salinidad, por lo que la siembra en llano o media ladera (cuando se siembra en caballón) son prácticas aconsejables ya que favorecen el desarrollo de la semilla y de la plántula.

Las labores superficiales deben estar encaminadas a reducir al máximo la evaporación, ya que de este modo se evita el ascenso de sales por capilaridad a la zona radical.

Las labores profundas (subsolado, desfonde,...) favorecen el lavado y la eliminación de sales del suelo.

FÓRMULA		DEFINICIÓN	SALINIDAD	SODICIDAD
1	Ph	Medida de la acidez/basicidad. Oscila entre 0 (máx. acidez) y 14 (máx. basicidad) siendo 7 el Ph neutro (6,6-7 valores deseables para agua de riego).	Detectable a Ph >8	
2	Conductibilidad eléctrica del agua	Medida obtenida al paso de la corriente eléctrica patrón a través de una disolución. Su valor es directamente proporcional al contenido de sales. Ud (mmtros/cm).	<p><u>CEa</u></p> <p><0,75 <u>Riesgo</u> 0,75-1,5 bajo 1,5-3 medio >3 alto >3 muy alto</p>	
3	Relación de adsorción de Sodio ajustada	Medida de la capacidad de destrucción de un suelo agrícola por Sodio. Tiene en cuenta composición del suelo y contenido del agua. Varía desde 0.		<p>Sodicidad por R.A.S.ad</p> <p><u>RASad</u> <u>CEa</u> <u>Riesgo</u> <6 >0,5 Bajo 6-9 0,50-0,2 Posible >9 <0,2 Grave</p>
4	Concentración	Cantidad de un material, cuerpo, etc disuelto en la unidad de volumen de agua. Se expresa generalmente en Miliquivalentes/litro (Meq/litro) o gramo, miligramo, etc/litro ambas unidades son relacionables.		

Continúa

		FÓRMULA	DEFINICIÓN	SALINIDAD	SODICIDAD	OBTURACIÓN			
				TOXICIDAD	DUREZA	FÍSICA	QUÍMICA	BIOLÓGICA	CORROSIÓN
5	IONES 5.10. Amonio 5.11. Boro 5.12. Hierro	(NH ₄) (B) (Fe)					<0,1 baja 0,1-1,5 media >1,5 alta		
6	Partículas en Suspensión	mg/l.				[mg/l] Riesgo <5 bajo 50-100 medio >100 alto			
7	Bacterias	(bact/cm ³)						[cell/ml] Riesgo >10.000 baja 10.000-50.000 medio >50.000 alto	

Resumen

La puesta en riesgo de una superficie esta condicionada por:

- La disposición de agua.
- La calidad del agua para este fin.

El caudal disponible y el demandado por la Ud. de Superficie determinarán la superficie máxima a regar.

Por norma general el agua de riego tiene su origen en las aguas de superficie o en las subterráneas.

En su movimiento el agua, arrastra partículas, disuelve sales, se contamina y con ello altera su calidad para el riego.

La disolución de una sal significa la dispersión de sus moléculas en constituyente ácido (aniones) y básico (cationes).

Un alto contenido de sales en el agua impide que la planta absorbe agua del suelo, otras veces, ciertas sales destruyen la estructura del suelo y en ocasiones puede deteriorar o destruir elementos de la red de riego.

La aptitud del agua para riego se valora por los contenidos de:

• Sales ®	—————>	Salinidad
• Sodio ®	—————>	Sodicidad
• Elemento tóxico ®	—————>	Toxicidad
• Alteración Medio ®	—————>	Dureza
• Corrosión		
• Obturación de salidas		

Para conocer la calidad del agua es ineludible efectuar un análisis de la misma.

La toma de muestra de agua influye en los métodos. A este fin sigue fielmente las instrucciones del texto y remítela a un laboratorio.

El análisis deberá contemplar, al menos los valores anunciados en el texto. Apreciaremos la salinidad por la conductibilidad eléctrica del agua (CEa).

A través del contenido de aniones y de cationes deduciremos si el agua es tóxica para el cultivo o la estructura del suelo (Na+) o si perjudica el funcionamiento del sistema (Ca, Mg, etc) o deteriora su integridad (SO4).

El índice Relación de Adsorción de Sodio (R.A.S.) hace referencia a la proporción relativa del Sodio (Na) frente a cationes que contrarrestan como efecto Co y Mg y señala el peligro de destrucción de la estructura del suelo.

R.A.S. _{sa}	—————>	Contempla el valor del índice para la solución del agua, depende de la composición de ésta.
R.A.S. _{ss}	—————>	Se refiere a la solución del suelo. Depende de la composición de este.
R.A.S. _{ad}	—————>	Denominado índice R.A.S. ajustado. Tiene en cuenta los efectos conjunto de los anteriores índices. Es el más usado en riego.

▼ A mayor valor de R.A.S. mayor riesgo de deterioro del suelo.

▼ El índice R.A.S. aumenta si desaparecen de la solución Ca y Mg hecho que se produce al precipitarse sus sales por evaporación del agua. Este hecho negativo es importante en la superficie de la zona mojada por el goteo (bulbo húmedo).

▼ El índice R.A.S.ad y la C.E.a observados conjuntamente aportan más información sobre la calidad del agua.

▼ La toxicidad de ciertos cationes, depende del sistema de riego y del cultivo. Debe prevenirse en efecto cuando se alcancen los límites dados por el texto.

▼ La suspensión de partículas es causa de obstrucción física de los goteos mientras que aniones y cationes como Calcio (Ca) Magnesio (Mg) Hierro (Fe) o Carbonato (CO_3) originan obstrucciones químicas y un alto contenido de bacterias la obstrucción biológica.

▼ Ciertos aniones, en particular los Sulfatos (SO_4) corroen elementos metálicos del sistema.

▼ Un estudio detallado y previo a la puesta en riego, del agua a emplear y el suelo disponible, evitará sorpresas desagradables posteriores y costosos gastos de corrección de los problemas.

3. Necesidades Hídricas de las Plantas

El agua es imprescindible para la vida de las plantas. Constituye la mayor parte de su materia (80-90%) y es utilizada como elemento de disolución y transporte de los nutrientes. Aparte de la nutrición, en el resto de las funciones vitales de los vegetales está presente el agua de forma decisiva, es fundamental en los procesos de regulación térmica (TRANSPIRACIÓN), en el movimiento de sustancias elaboradas, etc.

Las necesidades de agua de las plantas dependen fundamentalmente de dos factores: la propia planta y el entorno donde se cultiva.



SÓLO ES UN ALMACÉN

3.1. Agua Necesaria de un Cultivo

Es la suma de las propias necesidades de la planta y las necesidades del medio donde se cultiva, (SUELO) con sus pérdidas y su poder de retención.

NECESIDADES DE LA PLANTA + NECESIDADES DEL MEDIO

- | | |
|-------------------------------|------------------|
| - AGUA CONSTITUYENTE (80-90%) | - AGUA EVAPORADA |
| - AGUA TRANSPIRADA | - AGUA PERCOLADA |
| | - AGUA RETENIDA |

Si partimos de un suelo con un buen nivel de humedad (poca o nula retención) y disponemos de un riego que evite las pérdidas por percolación, solo nos debe preocupar, de momento, poner al alcance de las plantas el agua que transpiren (TRANSPIRACIÓN), y el que se evapore del suelo (EVAPORACIÓN). El agua que constituye la planta es insignificante en el consumo ya que para formar un kg de material vegetal (agua + materia seca) la planta debe transpirar cientos de litros de agua. Por tanto fijamos el aporte en los valores de:

EVAPORACIÓN + TRANSPIRACIÓN = ET

La EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET) de un cultivo (ETc) es lo que se puede denominar las necesidades de ese cultivo.

NECESIDADES	=	CLIMA	x	PLANTA
ETC	=	ETo	x	Kc

$$ETc = ETo \times Kc$$

ETo: sería la evapotranspiración de referencia en una superficie de gramíneas. Este dato se puede obtener por diversos métodos y se expresa en milímetros (mm) de agua. Está relacionado con los datos de clima, (Temperatura, humedad, viento, etc.).

Kc: sería el coeficiente de cultivo, que depende del propio cultivo y de su fase de desarrollo (cuadros 2 y 3)

3.2. Cálculos de la ETo y Kc

En zonas de avanzado desarrollo en materia de riego la ETo se suministra a los agricultores diariamente por medios de amplia difusión (radio, prensa), existiendo zonas en las que se dispone de series históricas de datos climatológicos de donde se pueden obte-

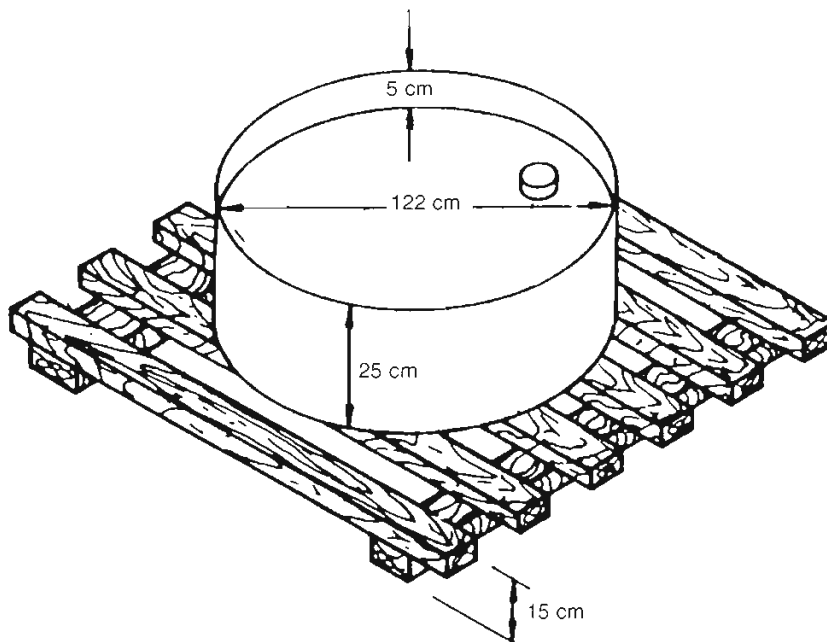
ner fácilmente. En las zonas de nuevos regadíos o en las de transformación, se está procediendo a montar pequeñas estaciones que contienen una cubeta tipo "A" para medir la evaporación diaria en mm. Por su bajo costo y facilidad de manejo, se está convirtiendo en el método más usual de cálculo.

3.2.1. Cálculo de la ETo por Medio de la Cubeta Tipo "A"

$$E_{To} = K_p \times E_p$$

▼ K_p = Coeficiente de cubeta. Depende de las condiciones que rodean a la estación. En el cuadro nº1 se reflejan las distintas cifras para los casos más frecuentes.

TANQUE TIPO "A"



CUADRO N.º 1. COEFICIENTE KP_1 EN EL CASO DE UNA CUBETA DE CLASE A, PARA DIFERENTES CUBIERTAS Y NIVELES DE HUMEDAD RELATIVA MEDIA Y VIENTOS DURANTE LAS 24 HORAS

CUBETA CLASE A		CASO A CUBETA RODEADA DE CUBIERTA VERDE BAJA			CASO B CUBETA CON BARBECHO DE SECANO		
RH MEDIA %	BAJA <40	MEDIA 40-70	ALTA >70	BAJA <40	MEDIA 40-70	ALTA >70	
VIENTOS KM/DÍA	DISTANCIA A BARLOVENTO DE LA CUBIERTA VERDE				DISTANCIA A BARLOVENTO DEL BARBECHO DE SECANO (EN M)		
DÉBILES< 175	0	0,55	0,65	0,75	0	0,7	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,6	0,8
	100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,75
MODERADOS 175-425	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,5	0,7
	0	0,5	0,6	0,65	0	0,65	0,8
	10	0,6	0,7	0,75	10	0,55	0,7
FUERTES 425-700	100	0,65	0,75	0,8	100	0,5	0,65
	1000	0,7	0,8	0,8	1000	0,45	0,6
	0	0,45	0,5	0,60	0	0,6	0,7
MUY FUERTES> 700	10	0,55	0,6	0,65	10	0,5	0,65
	100	0,6	0,65	0,7	100	0,45	0,6
	1000	0,65	0,7	0,75	1000	0,4	0,55
	0	0,4	0,45	0,5	0	0,5	0,65
	10	0,45	0,55	0,6	10	0,45	0,55
	100	0,5	0,6	0,65	100	0,4	0,5
	1000	0,55	0,6	0,65	1000	0,35	0,45

E_p = Evaporación cubeta en mm/día

Se utiliza la media para el período estudiado 10, 15 ó 30 días

Ejemplo de cálculo

Mediante un evaporímetro tipo A determinar E_{To} durante el mes de junio con los datos siguientes:

- Cubeta rodeada de 10m de hierba verde baja.
- Humedad relativa media: 50%
- Viento moderado

- En el cuadro siguiente se indican las lecturas diarias de altura de agua de la cubeta, la cantidad de lluvia caída diariamente y las cantidades de agua añadidas o sustraídas a la cubeta.

Día	Altura de agua mm	Lluvia mm	E_p mm	Día	Altura de agua mm	Lluvia mm	E_p mm
1	180	-	6	16	180	-	5
2	174	-	7	17	175	-	5
3	167	-	7	18	170	-	4
4	160	-	6	19	166	4	4
5	154	-	6	20	166	14	4
6	148	-	5	21	176	23	4
7	143	4	5	22	195	22	4
8	142	-	6	23	213	14	4
9	136	-	6	24	223/200	-	5
10	130	-	7	25	195	-	5
11	123	-	7	26	190	-	6
12	116	-	6	27	184	-	7
13	110/200	-	7	28	177	-	7
14	193	-	6	29	170	-	6
15	187	-	7	30	164	-	7

El día 13 se ha añadido 200 - 110 = 90 mm de agua
 El día 24 se ha quitado 223 - 200 = 23 mm de agua

Solución:

Se aplica la fórmula $E_{To} = E_p \times K_p$

$$E_p = \frac{\text{Suma de } E_p \text{ diaria durante el mes}}{\text{Número de días del mes}} = \frac{171}{30} = 5,7 \text{ mm/día}$$

El Cuadro nº 1 da $K_p = 0,7$

Sustituyendo valores en la fórmula

$$\nabla E_{To} = E_p \times K_p = 5,7 \times 0,7 = 3,99 \text{ mm/día}$$

- K_c = COEFICIENTE DE CULTIVO.

Depende fundamentalmente de la fase del desarrollo del cultivo, y de algunos factores como la humedad o el viento. (El cultivo puede modificar sus tasas de evaporación para adaptarlas a las condiciones climatológicas).

3.3. Fases del cultivo

- ▼ **Inicial:** Desde la Siembra hasta el 10% cobertura del suelo
- ▼ **Desarrollo:** Desde Final de la fase INICIAL hasta la Cobertura máxima de suelo.
- ▼ **Media estación:** De Final de la fase de DESARROLLO hasta la Maduración.
- ▼ **Última estación:** Desde la Maduración hasta la recolección

CUADRO N.º 2. DURACIÓN APROXIMADA DE LAS FASES EN EL PERIODO VEGETATIVO DE ALGUNOS CULTIVOS

	Total	Inicial	Desarrollo	Media estación	Última estación
Berenjena	180-195	30-30	50-50	55-65	45-50
Cebada	120-150	15-15	25-30	50-65	30-40
Cebolla verde	70-95	25-25	30-40	10-20	5-10
Cebolla seca	150-210	15-20	25-35	70-110	40-45
Col	120-140	20-25	25-30	60-65	15-20
Espinaca	60-100	20-20	20-30	15-40	5-10
Judía verde	75-90	15-20	25-30	25-30	10-10
Judía seca	95-110	15-20	25-30	35-40	20-20
Lechuga	75-140	20-35	30-50	15-45	10-10
Maíz grano	125-180	20-30	35-50	40-60	30-40
Melón	120-160	25-30	35-45	40-65	20-20
Patata	105-145	25-30	30-35	30-50	20-30
Pepino	105-130	20-25	30-35	40-50	15-20
Pimiento	120-210	25-30	35-40	40-110	20-30
Tabaco	120-130	30-40	40-60	50-70	40-70
Tomate	135-183	30-35	40-45	40-70	25-30
Trigo	120-150	15-15	25-30	50-65	30-40
Zanahoria	100-150	20-15	30-35	30-70	20-20

Las cifras de la tabla anterior se refieren a cultivos sembrados directamente sobre el terreno de asiento. En los cultivos que se trasplantan se considera como fase inicial el período comprendido desde la siembra hasta el trasplante, o en su caso, hasta llegar al 10% de cobertura del suelo. FAO)

CUADRO N.º 3. COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc) DE VARIOS CULTIVOS

	Inicial	Desarrollo	Media estación	Última estación
Berenjena	0,45	0,75	1,15	0,80
Cebada	0,35	0,75	1,15	0,45
Cebolla verde	0,50	0,70	1,00	1,00
Cebolla seca	0,50	0,75	1,05	0,85
Col	0,45	0,75	1,05	0,90
Espinaca	0,45	0,60	1,00	0,90
Judía verde	0,35	0,70	1,10	0,90
Judía seca	0,35	0,70	1,10	0,30
Lechuga	0,45	0,60	1,00	0,90
Maíz grano	0,40	0,80	1,15	0,70
Melón	0,45	0,75	1,00	0,75
Patata	0,45	0,75	1,15	0,85
Pepino	0,45	0,70	0,90	0,75
Pimiento	0,35	0,70	1,05	0,90
Tabaco	0,35	0,75	1,10	0,90
Tomate	0,45	0,75	1,15	0,80
Trigo	0,35	0,75	1,15	0,45
Zanahoria	0,45	0,75	1,05	0,90

(FAO)

CUADRO N.º 4. VALORES DEL COEFICIENTE DE CULTIVO Kc PARA LOS CULTIVOS FRUTALES.

Cultivo	Observaciones	E	F	M	A	M	J	Ji	A	S	O	N	D
Agríos	Cubierta > 70%	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,55	0,55
	• Sin malas hierbas	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,80	0,80
	• Con malas hierbas												
	Cubierta 20-70%	0,45	0,45	0,50	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50
	• Sin malas hierbas	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,80	0,80
	• Con malas hierbas												
	Cubierta < 20%	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40
	• Sin malas hierbas	0,85	0,85	0,90	0,90	0,90	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,90	0,90
	• Con malas hierbas												
Albaricoques Almendras Ciruelas Melocotones Peras (1)	Vientos moderados	-	-	0,80	0,85	0,90	1,00	1,00	1,00	0,95	0,80	0,80	-
	• Húmedos	-	-	0,85	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,10	0,90	0,85	-
	• Secos	-	-	0,80	0,90	0,95	1,00	1,10	1,10	1,00	0,85	0,80	-
	Vientos Fuertes	-	-	0,80	0,90	0,95	1,00	1,10	1,10	1,00	0,85	0,80	-
	• Húmedos	-	-	0,85	1,00	1,10	1,20	1,20	1,20	1,15	0,95	0,85	-
	• Secos	-	-	0,80	0,90	0,95	1,00	1,10	1,10	1,05	0,85	0,80	-
Manzanas Cerezas Nogal (1)	Vientos moderados	-	-	0,80	0,90	1,00	1,10	1,10	1,10	1,05	0,85	0,80	-
	• Húmedos	-	-	0,85	1,00	1,15	1,25	1,25	1,25	1,20	0,95	0,85	-
	• Secos	-	-	0,80	0,95	1,10	1,15	1,20	1,20	1,15	0,90	0,80	-
	Vientos Fuertes	-	-	0,80	0,95	1,10	1,15	1,20	1,20	1,15	0,90	0,80	-
	• Húmedos	-	-	0,85	1,05	1,20	1,35	1,35	1,35	1,25	1,00	0,85	-
	• Secos	-	-	0,80	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	0,95	0,85	0,80	-
Uvas (1)	Vientos Moderados	-	-	-	0,50	0,55	0,60	0,60	0,60	0,55	0,40	0,35	-
	• Húmedos	-	-	-	0,45	0,60	0,70	0,70	0,70	0,65	0,50	0,30	-
	• Secos	-	-	-	0,50	0,55	0,65	0,65	0,65	0,60	0,45	0,35	-
	Vientos Fuertes	-	-	-	0,45	0,65	0,75	0,75	0,75	0,70	0,55	0,30	-
	• Húmedos	-	-	-	0,50	0,65	0,75	0,75	0,75	0,70	0,55	0,30	-
	• Secos	-	-	-	0,45	0,65	0,75	0,75	0,75	0,70	0,55	0,30	-
Olivar (Miguel Pastor)		0,50	0,50	0,65	0,60	0,55	0,55	0,55	0,55	0,60	0,65	0,50	

(FAO)

(1) Inviernos fríos con heladas ligeras

Ejemplo:

▼ Calcular las necesidades del cultivo de judía verde con los siguientes datos:

– Siembra 15 de Julio.

– Duración periodo vegetativo: 80 días.

– Datos del tanque: situado en zona de césped, rodeado de cultivos bajos.

– Datos de viento y humedad: vientos débiles durante todo el cultivo y humedad media entre 50-60%.

– Datos de evaporación en tanque (media de últimos días/años).

Julio	9,8 mm/día
Agosto	9,2 mm/día
Septiembre	7,2 mm/día
Octubre	5,5 mm/día

▼ 1º CÁLCULO DE ETo

$$ETo = Kp \times Ep$$

ETo (Julio)= 0,65 x 9,8 = 6,37 mm/día

ETo (Agosto)= 0,65 x 9,2 = 5,98 mm/día

ETo (Sept.)= 0,65 x 7,2 = 4,68 mm/día

ETo (Octub.)= 0,65 x 5,5 = 3,57 mm/día

▼ 2º CÁLCULO DE Kc

Según tablas de Kc y ciclo de cultivos.

Fases	Días	Fecha	Kc
Inicial	17	15 Julio-31 Julio	0,35
Desarrollo	26	1 Agosto-26 Agosto	0,70
Media Estación	26	27 Agosto-21 Septiembre	1,10
Ultima Estación	11	22 Septiembre-2 Octubre	0,90

▼ 3º CÁLCULO DE LA ETc

$$ETc = Eto \times Kc$$

Fecha	Días	ET _o mm/día	K _c	ET _c mm/día	Total Perid. mm
15-7 al 31-7	17	6,37	0,35	2,22	37,74
1-8 al 26-8	26	5,98	0,70	4,18	108,68
27-8 al 31-8	5	5,98	1,10	6,57	32,85
1-9 al 21-9	21	4,68	1,10	5,14	107,94
22-9 al 30-9	9	4,68	0,90	4,21	37,89
1-10 al 2-10	2	3,57	0,90	3,21	6,42
TOTALES	80				331,52

Nota: Los ciclos se pueden acortar o prolongar según clima o variedades, en cualquier caso debemos adecuar las necesidades orientativas a cada situación

3.4. Algunos Datos que Pueden Hacer Variable la ET_c

▼ Clima

- Poca variabilidad en medias amplias.
- Calcular las instalaciones para las previsiones máximas.
- Estudiar microclima si los datos son de una estación lejana.

▼ Cambios en nuevos regadíos

- Pueden variar las series históricas de datos

▼ Capa freática

- Las capas altas reducen los índices de ET_c obtenidos por los procedimientos utilizados.

▼ Otros factores

- Los rompevientos pueden reducir la ET_c.
- Las labores pueden reducir ligeramente la ET_c.

3.5. Cálculo de las Necesidades de Riego

$$NB = \frac{NN}{Ea \times (1-LR)}$$

N.B. = Necesidades Brutas. Cantidad de agua que debemos aportar por medio del riego.

N.N. = ET_c, según el cálculo efectuado en el apartado anterior restándole el agua de lluvia en su caso.

En frutales se modifica en función (F) a la zona sombreada.

P%	F.	P%	F.
0	0,10	50	0,70
10	0,24	60	0,82
20	0,38	70	0,90
30	0,50	>70	1,00
40	0,60	-	-

(E. FERERES)

Siendo P% el porcentaje de suelo sombreado por la copa en función a la totalidad de suelo correspondiente a cada árbol (no se usa para formas en espaldera).

Por tanto para frutales la fórmula quedaría

$$NB = \frac{NN \times F}{Ea \times (1-LR)}$$

Ea = Eficiencia de aplicación. Agua que se aprovecha de la total aplicada.

Riego a pie 0,6

Riego aspersión 0,7-0,8

Riego goteo 0,9

LR = Fracción de lavado. Agua necesaria para producir Lixiviación para regular la salinidad del suelo.

$$LR = \frac{CEa}{2 (\text{Max } CEe)}$$

- CEa = Conductividad eléctrica del agua de riego mmhos/cm.
- MAX CEe = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo para un cultivo dado (ver cuadro 5)

CUADRO N° 5. DISMINUCIÓN DE RENDIMIENTOS (%) QUE SE PUEDE ESPERAR DEBIDO A LA SALINIDAD EN EL AGUA DE RIEGO (mmhos/cm) CON RIEGOS EN SUPERFICIE. (FAO 29).

Cultivo	0%	10%	25%	50%	Max. CEe (1)
Maíz	1,1	1,7	2,5	3,9	10
Habas	1,1	1,8	2,0	4,5	12
Naranja	1,1	1,6	2,2	3,2	8
Limonero	1,1	1,6	2,2	3,2	8
Manzano	1,0	1,6	2,2	3,2	8
Melocotonero	1,1	1,4	1,9	2,7	6,5
Albaricoquero	1,1	1,3	1,8	2,5	6
Almendro	1,0	1,4	1,9	2,7	7
Aguacate	0,9	1,2	1,7	2,4	6
Fresa	0,7	0,9	1,2	1,7	4
Brócoli	1,9	2,6	3,7	5,3	13,5
Tomate	1,7	2,3	3,4	5,0	12,5
Pepino	1,7	2,2	2,9	4,2	10
Melón	1,5	2,4	3,8	6,1	16
Espinaca	1,3	2,2	3,5	5,7	15
Coles	1,2	1,9	2,9	4,6	12
Patata	1,1	1,7	2,5	3,9	10
Lechuga	0,9	1,4	2,1	3,4	9
Cebolla	0,8	1,2	1,8	2,9	7,5
Zanahoria	0,7	1,1	1,9	3,1	8
Judía	0,7	1,0	1,5	2,4	6,5

(1) Max. CEe es la conductividad máxima en extracto de suelo saturado que pueda soportar el cultivo. A partir de esa cifra se para el crecimiento y se produce el 100% de la pérdida de cosecha

Ejemplo:

Tomando como referencia los datos del ejemplo del cultivo de judías del apartado anterior y con:

- Riego por goteo.
- CEa : 1,1 mmhos/cm.

PARA EL PRIMER PERIODO (15-7 al 31-7--- 2,22 mm/día)

$$NB. \text{ mm/día} = \frac{2,22}{0,9 \times (1-LR)} \quad LR = \frac{1,1}{2 \times 6,5} = 0,084$$

$$NB. = \frac{2,22}{0,9 \times (1 - 0,084)} = \frac{2,22}{0,824} = 2,7 \text{ mm/día}$$

Operar de igual modo para todos los períodos.

4. Principios Básicos de Hidráulica Aplicada al R.L.A.F.

El riego localizado se basa en la conducción de agua desde un punto de almacenamiento al pie de cada planta, discurriendo durante todo el trazado dentro de una tubería, generalmente de PVC o PE.

Para que el agua alcance todos los puntos de emisión en un riego es necesario dotarla de una presión que venza el rozamiento de las tuberías y elementos del equipo y haga trabajar correctamente los emisores.

Veamos algunos conceptos esenciales para entender el movimiento del agua en las tuberías.

4.1. Presión (P):

Fuerza que ejerce el agua sobre un punto del recipiente que la contiene. Se mide en atmósferas (Atm).

1 Atm = Presión de una columna de agua de 10 metros de altura/cm².

1 Atm = 10 metros de columna de agua (m.c.a.)

1 MP_a ≈ 10 Atm ≈ 100 m.c.a

▼ Caudal (Q): Es la cantidad de agua que pasa por un conductor en un tiempo determinado (segundos, minutos, horas, etc.).

Q = sección del conductor x velocidad del agua.

4.2. Pérdida de Carga (PC):

Es la pérdida de presión debida al rozamiento del agua con las paredes del conductor. Depende de:

- Diámetro interior (Ø) de la tubería
- Longitud de la tubería
- Caudal y velocidad del agua (Para un mismo Ø si aumentamos el caudal aumenta la velocidad).
- Rugosidad de la pared interior de la tubería.

Cada fabricante aporta unas tablas (ábacos, ver Tabla I y II del tema 12) en donde dado un Ø de tubo y una Q se determina un tanto por ciento de pérdida de carga.

La pérdida de carga se calcula:

$$PC = \frac{L \times J}{100}$$

PC = Pérdida de carga en m.c.a.
 L = Longitud en metros de la tubería
 J = Pérdida de carga por 100 metros lineales

El resultado de PC quedaría expresado en m.c.a.

La anterior fórmula es de aplicación para conducciones con una única salida. En riego localizado las conducciones primaria, secundaria están en este caso, pero las líneas terciarias y porta-emisores cuentan con múltiples salidas. Cuando una conducción pierde cada tramo que avanza parte de su caudal, (lo que descarga la línea o el emisor) su Q disminuye y por tanto su velocidad y su PC.

El cálculo de PC. de estas tuberías se efectúa mediante la fórmula

$$PC = \frac{L \times J \times F}{100}$$

En donde se introduce un factor de corrección de la pérdida de carga (F) que viene determinado (anexo I) por el número de salidas de la tubería.

4.3. Cálculo de la Altura de Trabajo

La altura de trabajo de un equipo de riego viene determinada por la altura real en metros que tiene que vencer (altura geométrica total) más las pérdidas de carga de todos los elementos que la componen.

La altura geométrica total está compuesta por la altura geométrica de aspiración (distancia vertical entre la superficie del agua y el eje de la bomba que la aspira) y altura geométrica de impulsión (distancia vertical desde el eje de la bomba y el punto de descarga de la tubería).

$$H_g = H_a + H_i$$

H_g = Altura geométrica total.
 H_a = Altura geométrica de aspiración.
 H_i = Altura geométrica de impulsión.

La altura geométrica de aspiración teóricamente no puede ser nunca superior a 10,33 m. a nivel del mar, si bien en la práctica el máximo considerado es el 70% (7 m.c.a.).

A los datos obtenidos anteriormente hay que sumar las pérdidas de carga de todos los elementos que componen el equipo.

Por tanto la altura manométrica de trabajo (H_m) de un equipo sería:

$$H_m = H_a + H_i + PC_a + PC_i + PTe$$

PC_a = Pérdida de carga de tubo de aspiración.
 PC_i = Pérdida de carga de tuberías de impulsión y elementos del equipo.
 PTe = Presión de trabajo de los emisores.

Anexo I

(VALORES "F" DE CRISTIANSEN)

Nº salidas	F	Nº Salidas	F	Nº salidas	F
1	1.000	11	0,375	22	0,366
2	0,525	12	0,374	24	0,365
3	0,448	13	0,372	26	0,364
4	0,419	14	0,371	28	0,364
5	0,403	15	0,370	30	0,363
6	0,394	16	0,369	35	0,362
7	0,388	17	0,368	40	0,362
8	0,383	18	0,368	45	0,361
9	0,380	19	0,367	100	0,359
10	0,378	20	0,367	200	0,358

5. Embalses para Riego

La utilización de riegos de alta frecuencia exige contar con agua disponible a diario o en el peor de los casos, cada dos o tres días, pero siempre de forma distinta a los sistemas tradicionales de reparto en turnos del agua de riego. Aun disponiendo de equipos propios de elevación y de fuentes permanentes, la eventualidad de posibles averías mecánicas hace recomendable contar con depósitos de regulación y almacenamiento de agua, especialmente en frecuencias muy altas y en cultivos de sistema radicular débil, o plantas muy sensibles a la falta de agua.

También los embalses pueden cumplir una función de ahorro en los costes energéticos de bombeo, permitiendo la recogida de aguas de lluvia y sobre todo, pudiendo efectuar las operaciones de llenado en "horas, días o períodos valle", en los que el costo energético es bastante menor. Si este fuese uno de sus objetivos se debe diseñar con este criterio.

Los embalses además pueden usarse como decantadores para eliminar sólidos en suspensión, indeseables para los sistemas de riego a presión.

Para almacenar agua son varias las formas que podemos adoptar, pero en esencia todas consisten en un recipiente de volumen adecuado recubierto de un material impermeable para evitar fugas y en los casos que se estime oportuno un sistema de tapado para evitar la formación de algas, reducir la evaporación del agua, y evitar la contaminación de ésta por elementos indeseables transportados por el viento.

5.1. Elección del Emplazamiento

El lugar ideal del emplazamiento de un embalse es cercano al cabezal de riego, de esta forma la vigilancia y el control de limpieza, llenado y aplicación de productos para decantación o antialgas, se efectuará más cómodamente. Por otra parte esto también posibilita que los equipos de impulsión para riego estén integrados en los cabezales.

Hechas estas consideraciones, la decisión del emplazamiento estará condicionada por:

- Disponibilidad de suelo en el lugar deseado.
- Facilidad de acceso.
- Estudio de costos para el llenado y el transporte a la parcela.
- La posibilidad, si existen desniveles importantes, del ahorro que pueda suponer el riego sin necesidad de impulsión desde el embalse.

5.2. Tipos de Embalses

Según la necesidad de volumen y la disponibilidad de suelo para ocupar por la obra, pueden ser elevados, enterrados o semienterrados.

5.2.1. Elevados

▼ Cuando se dispone de poco suelo útil y los volúmenes requeridos no son muy altos, los embalses elevados son los más comunes. Su material constructivo y a la vez impermeabilizante pueden ser el hormigón armado o la chapa. La forma más común es la circular por su mayor resistencia a la presión ejercida por el agua. En ambos casos se pueden instalar pilares centrales para apoyar la cubierta.

El embalse de hormigón suele ser algo más caro que el de chapa pero más duraderos, en cuanto a las prestaciones son las mismas para ambos casos.

El mantenimiento es el mismo para ambos materiales, salvo que la chapa no sea galvanizada, que habría que recurrir a pinturas periódicas siguiendo las instrucciones de la empresa instaladora.

En este tipo de embalses se simplifica la impulsión y se abarata el coste y las labores de limpieza se realizan más fácilmente.

5.2.2. Enterrados o Semienterrados

Para volúmenes más elevados se recurre a este tipo de embalse. Suelen instalarse sobre una excavación en el suelo, y en casos con una pequeña elevación que produce la tierra extraída de la excavación.

El material de construcción lo constituye el propio suelo y el de impermeabilización una geomembrana, raras veces se recurre al hormigón por ser su costo muy elevado.

En casos de suelos gruesos o muy punzantes se suelen colocar antes de la geomembrana un material de protección para evitar roturas (lámina geotextil).

El mercado ofrece una amplia gama de geomembranas, siendo las más comunes:

- Lámina de PVC. - De diferentes gruesos, siendo la más usada 1,2 mm. Su duración media garantizada es de 10-20 años. La soldadura se efectúa con aire caliente y debe hacerse por personal experto.

En la mayoría de los casos es la más barata.

- Lámina de polietileno (P.E.) de alta densidad.- El grosor recomendado es de 1,5 mm, resultando muy resistente a la tracción y al efecto de las aguas agresivas. Su duración garantizada es de 20-50 años. La soldadura debe hacerse por estrucción o termofusión y siempre con equipos y personal especializado.

- COPOLIMERO EVA (18% V.A.). En la actualidad es poco usado. Manifiesta una gran resistencia a la tracción.

Para todas las geomembranas, debemos considerar antes de su compra, los siguientes requisitos:

- Resistencia al medio
- Poca sensibilidad a cambios térmicos.
- Resistencia a la punción.
- Resistencia a la tracción.
- Duración adecuada.
- Facilidad de soldadura.
- Posibilidad de reparación.

5.3. Formas y Medidas de Embalses Enterrados

La forma que mejor aprovecha la lámina es la cuadrangular, si bien habrá que adaptarse a la superficie disponible. Se debe tender a formas regulares. Ver anexo 1.

Uno de los datos constructivos más importantes es el talud de las paredes, siendo lo más recomendado 1/1, 1/2 y 1/2,5, debiendo tener presente que a una mayor pendiente existirá más peligro de rodamiento y rotura. En paredes de tierra nunca se deben hacer taludes verticales. La profundidad debe ser de 3 m en adelante para optimizar el aprovechamiento del suelo ocupado. El principal factor limitante de profundidad será la altura de aspiración de las bombas, si el equipo está en alto, no se debe pasar de 7 m.

Si el llenado se efectúa con aguas turbias, el embalse cumplirá funciones de decantación y tendrá por tanto que situarse sobre plano inclinado y disponer de mecanismo de limpieza de fondo.

5.4. Cálculo del Volumen de un Embalse

Para efectuar el cálculo de un embalse debemos disponer de varios datos: caudal de llenado y frecuencia de turnos; necesidades máximas en época punta; y evaporación diaria en período punta. Con estos datos aplicamos la fórmula siguiente.

$$V = NM \times DT + VS + (EP \times DT)$$

- V = Volumen neto del embalse. (litros)
- NM = Necesidades diarias en época punta. (litros)
- DT = Días de turno.
- VS = Volumen de sedimentación. (litros)
- EP = Evaporación diaria en época punta. (mm)

El volumen neto (V) sería el necesario sin prever una posible avería de los equipos o un retraso de los turnos. En previsión de esta eventualidad se incrementa en un 20% (volumen de emergencia), por tanto:

$$VT = V + 20\%$$

En embalses de gran superficie y/o en zonas de fuertes vientos es necesario prever un volumen de vacío para evitar el desbordamiento por oleaje.

5.5. Obras Complementarias

Es necesario que todo embalse cuenta con un sistema de regulación de llenado (sistema de parada de equipos) o con aliviadero para evitar desbordamientos incontrolados.

La entrada de agua debe hacerse por medio de un difusor para evitar el impacto directo en las geomembranas y el agitado del agua.

En los embalses abiertos, es obligatoria la valla perimetral para seguridad de personas y animales y convenientes las escalas para salida en caso de caídas fortuitas.

En suelos con capas freáticas altas se debe dotar el embalse, bajo la geomembrana, de un sistema de drenaje para evacuar el agua subterránea, o la formación de gases.

BALSAS				
Pendiente de talud: $J = 1$ ($\alpha = 45^\circ$)				
Profundidad de la balsa: $H = 3$ m				
LADO (m)		SUPER(M²)		VOLUMEN (m³)
Mayor	Menor	Balsa	Lámina	Balsa
a	b	A	S	V
0	10	100	135	156
15	10	150	197	259
15	15	225	285	441
20	10	200	260	362
20	15	300	372	620
20	20	400	484	876
25	10	250	322	464
25	15	375	459	799
25	20	500	597	1.131
25	25	625	734	1.461
30	10	300	384	566
30	15	450	547	978
30	20	600	709	1.385
30	25	750	872	1.791
30	30	900	1.034	2.196
35	10	350	447	667
35	15	525	634	1.156
35	20	700	822	1.639
35	25	875	1.009	2.120
35	30	1.050	1.197	2.601
35	35	1.225	1.384	3.001
40	10	400	509	769
40	15	600	722	1.334
40	20	800	934	1.893
40	25	1.000	1.147	2.450
40	30	1.200	1.359	3.006
40	35	1.400	1.571	3.561
40	40	1.600	1.784	4.116
50	15	750	897	1.691
50	20	1.000	1.159	2.401
50	25	1.250	1.421	3.108
50	30	1.500	1.684	3.815
50	35	1.750	1.946	4.520
50	40	2.000	2.209	5.226
50	50	2.500	2.734	6.636
60	15	900	1.071	2.047
60	20	1.200	1.329	2.792
60	25	1.500	1.696	3.767
60	30	1.800	2.009	4.623
60	35	2.100	2.321	5.479
60	40	2.400	2.634	6.335
60	50	3.000	3.258	8.046
60	60	3.600	3.883	9.756
70	20	1.400	1.609	3.416
70	25	1.750	1.971	4.425
70	30	2.100	2.334	5.432
70	35	2.450	2.696	6.438
70	40	2.800	3.058	7.444
70	50	3.500	3.783	9.455
70	60	4.200	4.508	1.466
70	70	4.900	5.233	13.476

BALSAS Pendiente de talud: $J = 1$ ($\alpha = 45^\circ$) Profundidad de la balsa: $H = 4$ m				
LADO (m)		S (m ²)	LÁMINA	V. (m ³)
MAYOR	MENOR	BALSA		BALSA
15	30	225	298	505
20	15	300	389	724
20	15	400	506	1.045
25	20	375	481	940
25	15	500	623	1.364
25	20	625	764	1.785
30	25	450	573	1.156
30	15	600	739	1.683
30	20	750	906	2.205
30	25	900	1.072	2.725
35	30	525	664	1.372
35	15	700	856	2.000
35	20	875	1.047	2.624
35	25	1.050	1.239	3.245
35	35	1.225	1.430	3.865
40	15	600	756	1.587
40	20	800	972	2.318
40	25	1.000	1.189	3.042
40	30	1.200	1.405	3.764
40	35	1.400	1.622	4.485
40	40	1.600	1.839	5.205
50	15	750	939	2.018
50	20	1.000	1.205	2.952
50	25	1.250	1.472	3.878
50	30	1.500	1.739	4.802
50	35	1.750	2.005	5.724
50	40	2.000	2.272	6.645
50	50	2.500	2.805	8.485
60	15	900	1.122	2.448
60	20	1.200	1.439	3.586
60	25	1.500	1.755	4.714
60	30	1.800	2.072	5.539
60	35	2.100	2.388	6.961
60	40	2.400	2.705	8.083
60	50	3.000	3.338	10.325
60	60	3.600	3.971	12.565
70	20	1.400	1.672	4.219
70	25	1.750	2.038	5.549
70	30	2.100	2.405	6.875
70	35	2.450	2.771	8.199
70	40	2.800	3.138	9.521
70	50	3.500	3.871	12.164
70	60	4.200	4.604	14.805
70	70	4.900	5.337	17.445
80	20	1.600	1.905	4.853
80	25	2.000	2.321	6.385
80	30	2.400	2.738	7.912
80	35	2.800	3.155	9.436
80	40	3.200	3.571	10.959
80	50	4.000	4.404	14.002
80	60	4.800	5.237	17.044
80	70	5.600	6.071	20.085
80	80	6.400	6.904	23.124

6. Impulsión

Cuando el agua no puede fluir por su propio peso, o no fluye con presión suficiente, hay que elevarla o dotarla de presión para que pueda funcionar correctamente un sistema de riego. Desde la más remota antigüedad se ha venido elevando el agua por los más variados sistemas: norias, molinos de viento, tornillo de Arquímedes, etc.

En la actualidad la forma más usual de impulsar el agua es por medio de bombas hidráulicas, que son movidas por motores eléctricos o de combustión interna (gasolina o diesel).

6.1. Alturas de Elevación

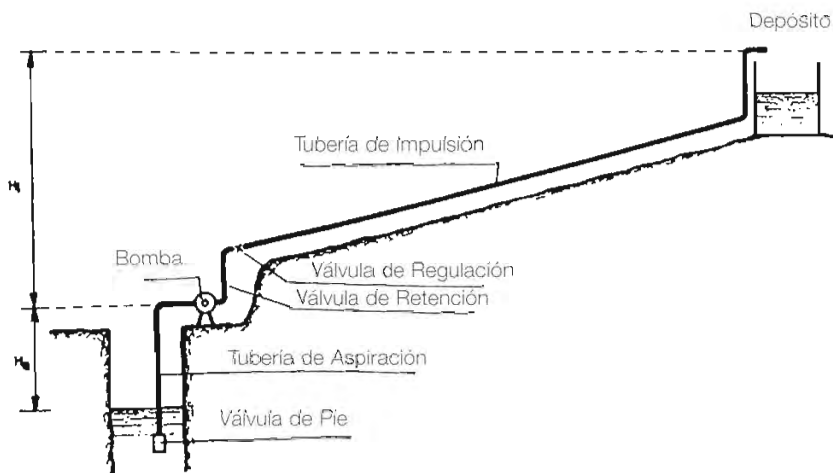
En la mayoría de los casos, las bombas que elevan el agua actúan en dos fases:

- ▼ **Aspiración:** Elevación del agua desde su nivel hasta la bomba.
- ▼ **Impulsión:** Conducción del agua desde la bomba hasta su destino.

La tubería que conduce el agua en la aspiración se llama *tubería de aspiración*.

La tubería que conduce el agua en la impulsión se llama *tubería de impulsión*.

La instalación de una bomba viene representada en la siguiente figura.



▲ Fig. 1: Esquema de la instalación de una bomba. H_g : Altura geométrica de aspiración.
 H_i : Altura geométrica de impulsión

Hay que considerar, por tanto, las siguientes alturas:

▼ **Altura geométrica de aspiración:** Distancia vertical existente entre el nivel del agua aspirada y el centro de la bomba. En la práctica, la altura de aspiración no debe superar los 6 ó 7 m.

▼ **Altura geométrica de impulsión:** Distancia vertical entre el eje de la bomba y el punto más alto de la tubería de impulsión.

▼ **Altura geométrica total:** Es la suma de las dos alturas anteriores.

Pero dado que el agua sufre pérdidas de carga (P.C.) debidas al rozamiento, las alturas a considerar son las siguientes:

▼ **(HT) Altura manométrica:** Altura geométrica total + pérdidas de carga + P.T.(puede ser nula)

6.1.1. Cálculo de la Altura Manométrica:

Los datos necesarios para calcular la altura de elevación (hasta un depósito) son los siguientes:

- Altura geométrica de aspiración: H_a
- Altura geométrica de impulsión: H_i
- Caudal que se desea elevar: Q
- Longitud tubería aspiración: L_a
- Longitud tubería impulsión: L_i
- Pérdida de carga tubería aspiración: $P.C_a$
- Pérdida de carga tubería impulsión: $P.C_i$

En el caso de tener que calcular dicha altura para el funcionamiento de un equipo de riego, sin depósito intermedio, nos harían falta, además:

- Presión de trabajo del emisor: P.T.
- Pérdida de carga producida en el cabezal de riego: $P.C_{cab}$

Las pérdidas de carga $P.C_a$ y $P.C_i$, hay que aumentarlas en un 20%, por la producida en las piezas especiales (codos, válvulas, ventosas, etc.) instaladas en las respectivas tuberías.

$$\mathbf{H \text{ manométrica: } H_m = H_a + H_i + P.C_a + P.C_i + P.T. + P.C_{cab}}$$

Ejemplo:

Se desea elevar un caudal de agua de 16.200 l/h desde un pozo donde el nivel del agua está a 5 m del nivel del suelo, hasta un cabezal de riego de 4 elementos, situado a una diferencia de cota de 30 m y a una distancia de 750 m. La bomba está situada a 2 m de distancia de la vertical del pozo. Calcular la altura manométrica.

Solución:

$$\begin{aligned} H_a &= 5 \text{ m} \\ H_i &= 30 \text{ m} \\ Q &= 16.200 \text{ l/h (4,5 l/seg)} \\ P.T. &= 10 \text{ m.c.a.} \\ P.C_{cab} &= 20 \text{ m.c.a. (5 m.c.a. x 4 elementos)} \end{aligned}$$

• La velocidad del agua estará limitada a 1,5 m/seg, para evitar inconvenientes (sobre todo, golpes de ariete).

$$\mathbf{Velocidad \text{ (m/seg)} = \frac{Q \text{ (l/h)} / 3600000}{3,14 \times d \text{ (m)}^2 / 4}$$

▼ que para 16.200 l/h, las velocidades son:

$V = 2,29$ m/seg, para un diámetro de tubería de 50 mm

$V = 1,02$ m/seg, para 75 mm

$V = 0,7$ m/seg, para 110 mm

Por tanto, el diámetro de la conducción será de 75 mm (correspondiente a la velocidad más aproximada e inferior a 1,5 m/seg).

Por otro lado tenemos que (ver tablas I y II del Tema 12), para un caudal de 16.200 l/h y un diámetro de 75 mm, la P.C. es de 2 m.c.a.(aproximadamente) por cada 100 m de tubería, o sea, 0,02 m por cada m.

Si vamos a utilizar el mismo diámetro de tubería para la impulsión y la aspiración, tendremos que:

Longitud de aspiración	$L_a = 5 + 2 =$	7 m
Longitud de impulsión	$L_i =$	750 m
Longitud total	$L_t = 7 + 750 =$	757 m
Pérdida de carga en tuberías	$P.C_{tub} = 757 \times 0,02 =$	15,14 m
Pérdida de carga en piezas especiales:	20% de 37,85 =	3,03 m
	Total	18,17 m
Presión de Trabajo de los emisores	P.T. =	10 m
Pérdida de carga en cabezal	P.C _{cab} =	20 m

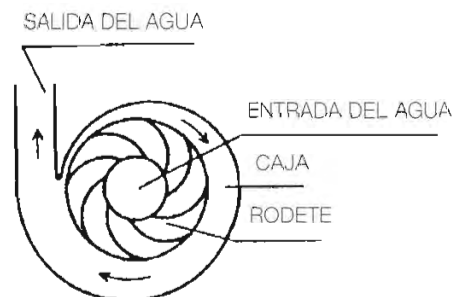
▼ Por tanto, la altura manométrica será:

$$H_m = H_a + H_i + P.C_a + P.C_i + P.T. + P.C_{cab} = 5 + 30 + 18,17 + 10 + 20 = 83,17 \text{ m}$$

6.2. Bombas Centrífugas

Son máquinas hidráulicas de movimiento rotativo, en las que el elemento impulsor transforma la energía mecánica en energía de presión y cinética. Son las de mayor aplicación en el riego.

Constan de dos elementos principales. Un elemento rotativo que impulsa al líquido, *rodete*, y la *carcasa*, caja o cuerpo de la bomba.



▲ Fig. 2: Esquema de una bomba centrífuga de eje horizontal.

6.2.1. Clasificación

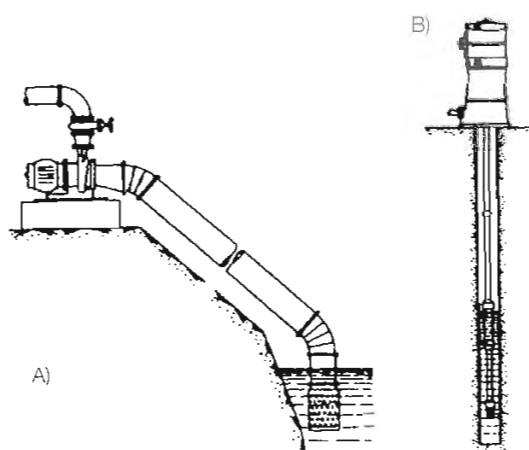
Las bombas centrífugas se pueden clasificar según la dirección del flujo en:

- ▼ flujo radial
- ▼ flujo axial
- ▼ flujo mixto

Tipo de bomba	Caudal	Altura (m)
Axial	Alto	Baja
Mixto	Medio	Media
Radial	Bajo	Alta

Las más utilizadas para riegos son las bombas de flujo radial y las mixtas, que por la posición del accionamiento, pueden ser de:

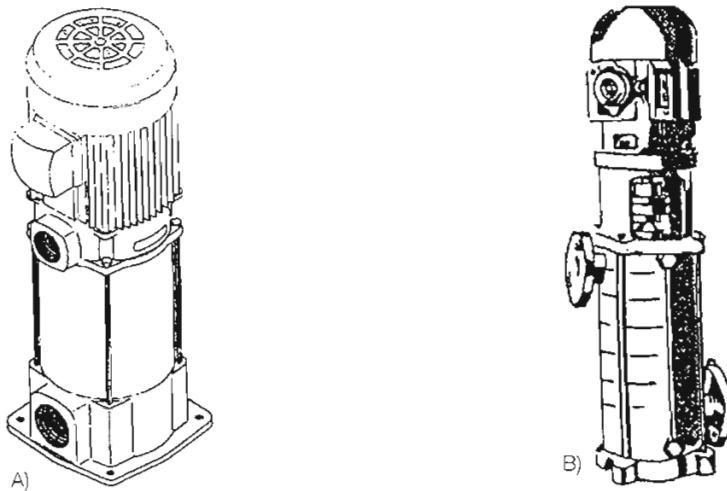
- eje horizontal
- eje vertical



▲ Fig. 3: A) Bomba de eje horizontal. B) Bomba de eje vertical

▼ Según el número de rodetes de que consten pueden ser:

- Monocelulares: —> Un solo rodete.
- Multicelulares: —> Varios rodetes, conectados en serie, con lo que se consiguen grandes alturas de impulsión.



▲ Fig. 4: A) Monocelulares. B) Multicelulares

▼ Las bombas de eje vertical pueden ser:

- Sumergidas: —> Con motor en superficie y accionamiento mediante un eje. Tienen la limitación de longitud del eje, debido a las P.C. por rozamiento del mismo.
- Bombas buzo: —> El cuerpo motobomba está sumergido. Suelen ser bombas multicelulares, pudiéndose instalar a grandes profundidades (más de 200 m).



▲ Fig. 5: A) Bombas sumergidas. B) Bombas buzo

Para el correcto funcionamiento de las bombas, la tubería de aspiración y la bomba deben estar cebadas (las bombas centrifugas no son aspirantes) y por tanto deben disponer de dispositivos de cebado, así como de válvula de pie (anti-retorno) para que no se desoeben entre cada ciclo de funcionamiento.

6.2.2. Accionamiento de las Bombas:

El sistema de accionamiento mayoritariamente empleado en las bombas es por acoplamiento directo a motores eléctricos. En la mayoría de los casos, estos motores están alimentados mediante corriente trifásica con voltajes variables entre 220 y 500 V.

Las velocidades de giro más usuales son:

- 960 r.p.m.
- 1.450 r.p.m.
- 2.900 r.p.m.

Para evitar que el motor eléctrico funcione a plena carga, la potencia del mismo se debe incrementar entre un 10 y un 20%, aproximadamente. Para un cálculo más exacto, aplicar la fórmula del siguiente cuadro.

Potencia bomba (P_b)	Potencia motor
1 a 5 CV	$P_b / 0,7$
5 a 10 CV	$P_b / 0,8$
10 a 25 CV	$P_b / 0,85$
>25 CV	$P_b / 0,9$

6.2.3. Rendimiento de las Bombas:

Se llama rendimiento de una máquina a la cantidad que resulta de dividir el trabajo que se utiliza entre el trabajo que se consume:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Trabajo utilizado}}{\text{Trabajo consumido}} \times 100 = \%$$

En la elevación del agua funciona un equipo de dos máquinas: el motor y la bomba. El rendimiento del equipo será:

$$R = r \times r'$$

R = rendimiento del equipo
 r = rendimiento del motor
 r' = rendimiento de la bomba

Cuando no se conocen los rendimientos del motor y de la bomba, se utilizan los siguientes:

- Para grupos menores de 5 CV: $\rightarrow R = 0,5$
- Para grupos mayores de 5 CV: $\rightarrow R = 0,6$

6.2.4. Cálculo de la Potencia de una Bomba:

Para calcular la potencia necesaria en la elevación del agua, se emplea la siguiente fórmula:

$$P = \frac{Q \times H_m}{75 \times R}$$

P: Potencia expresada en CV

Q: Caudal expresado en l/seg

H_m : Altura manométrica expresada en m

R: Rendimiento del equipo motobomba expresado en tanto por 1

Ejemplo:

(Tomaremos los mismos datos utilizados para el ejemplo del apartado 6.2.1)

Calcular la potencia necesaria para elevar un caudal de agua de 4,5 l/seg desde un pozo donde el nivel del agua está a 5 m del nivel del suelo, hasta un cabezal de riego situado a una diferencia de cota de 30 m y a una distancia de 750 m. La bomba, situada a 2 m de distancia de la vertical del pozo, tiene un rendimiento de 0,85 y está movida por un motor de rendimiento 0,75.

Solución:

$$P = \frac{Q \times H_m}{75 \times R}$$

Q = 4,5 l/seg

H_m = Altura manométrica (ejemplo anterior) = 83,17 m

R = Rendimiento del grupo = 0,85 x 0,75 = 0,63

$$P = \frac{4,5 \times 83,17}{75 \times 0,63} = 7,35 \text{ CV}$$

Para transformar los CV en Kw hay que multiplicar por 0,736

$$7,35 \text{ CV} \times 0,736 = 5,4 \text{ Kw}$$

6.3. Datos Elementales que Deben Tenerse en Cuenta al Instalar la Bomba

Llegado el momento de elegir la bomba se debe estar seguro del trabajo que ha de cumplir:

- Altura total de elevación
- Caudal necesario

- Tensión eléctrica de enganche que corresponda
- Instalación de un salvamotor

Así como:

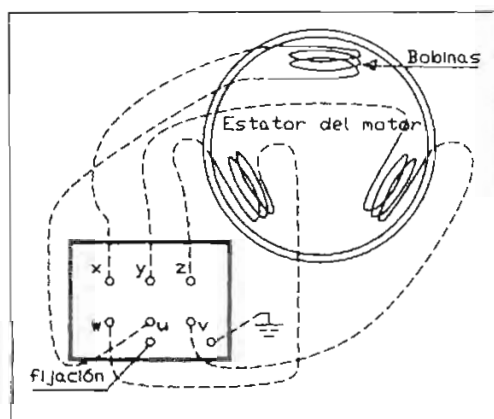
- Comprobar que gira en el sentido correcto indicado
- Instalar la bomba lo más cerca posible de la aspiración
- Que las juntas de unión sean herméticas para evitar entradas de aire
- Que la bomba no tenga que soportar el peso de las tuberías

La válvula de pie no debe tocar el fondo. Colocarla a una altura prudencial para no arrastrar partículas o cuerpos extraños que podrían dañar la bomba.

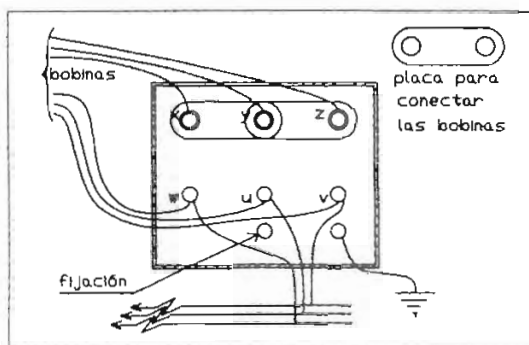
Si se coloca un filtro en el caso de utilizar aguas muy sucias, tenerlo presente en el cálculo de las P.C. de aspiración.

Si la bomba ha de trabajar a una presión superior a 15 m, instalar una válvula de retención a la salida de la misma para evitar los golpes de ariete.

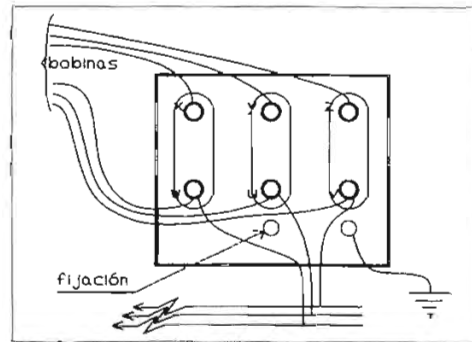
Esquema de caja de conexiones trifásica



Caja conectada en estrella



Caja conectada en triángulo



7. Cabezales de Riego

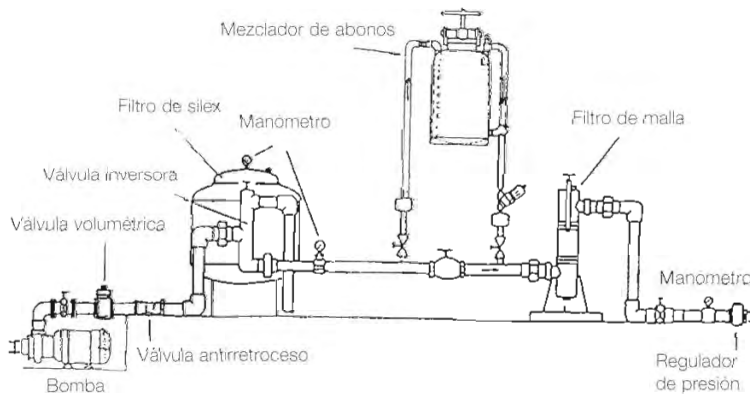
7.1. Introducción

El problema más grave y frecuente en las instalaciones de riego localizado, en particular en el goteo, es el de las OBTURACIONES.

La función primordial del cabezal, consiste en eliminar del agua los elementos indeseables para evitar las obturaciones.

Por otra parte, en el cabezal se dosifica e inyecta el fertilizante en el agua de riego, se comanda la automatización del equipo y se corrige pH.

El cabezal de riego comprende un conjunto de elementos cuya función es: captar, bombear, filtrar, mezclar abono e introducirlo en la red, filtrar y distribuir el agua. El agua así preparada deberá estar desprovista de todo tipo de partículas que puedan obstruir los emisores, ya que éstos poseen conductos con diámetros a veces inferiores a 0,7 mm.



7.2. Prefiltrado

Cuando el agua contiene en suspensión una gran proporción de partículas (arena, limo, arcilla, restos de materia orgánica, etc. y mayores de 200 ppm) hay que eliminar una buena parte de ellas antes de la entrada del agua en el cabezal de riego para evitar la limpieza reiterada de los equipos de filtrado. Esta separación se hace de las siguientes formas:

7.2.1. Filtros Tipo Yack

Se utilizan para aguas muy turbias y con un alto porcentaje de sólidos en suspensión (>200 ppm). Retienen las partículas mayores.

Están formados por una serie de mallas dispuestas en forma de escalera, de mayor a menor diámetro de orificio, por las que se hace circular el agua en forma de cascada. Estas mallas deberán ser desmontables para poder proceder a su limpieza cuando sea necesaria.

7.2.2. Dispositivos de Desbaste

Consisten en alcachofas, cajones de rejilla, etc.

- Rejas metálicas: —→ Para desbaste fino. con huecos de 3-10 mm de separación
Para predesbaste, con separaciones de 50-100 mm.

La velocidad de paso estará entre 0,6 y 1 m/seg.

- Tomas flotantes

7.2.3. Depósito de Decantación

Es un depósito construido de obra de fábrica, en donde se provoca la decantación de las partículas más pesadas que el agua (arenas y limos), utilizables en el caso de no proceder ésta de un estanque. Por un proceso de aireación, se elimina el hierro: aumenta el O₂, disminuye el CO₂, sube el pH, se oxida el Fe y se precipita.

▼ **Diseño:** Deben ser largos y estrechos, con la entrada del agua sin turbulencias y a una baja velocidad, con la salida de riego a una altura media, para impedir el paso de cuerpos flotantes, en caso de no haber utilizado filtros Yack.

Ejemplo:

Para 200 m³/h y partículas de σ medio.

- Depósito: 15 m x 3 m x 1,25 m.
- Duración recorrido: 1/4 hora

▼ **Velocidad de decantación:** (Ley STOKES para partículas esféricas)

$$V_e = 5,715 \times 10^{-5} \times D^2 (P_s - 1)$$

V_e: Velocidad de sedimentación (cm/seg)

P_s: Peso específico de la partícula (2,67)

D: Diámetro de la partícula en micras

▼ **Diseño de un decantador:**

$$Q = 10 \times A \times V_e$$

Q: Caudal clarificado

A: Superficie del depósito

V_e: Velocidad de decantación (cm/seg)

- Para calcular la superficie:

$$A = 0,10 Q/V_e$$

- Profundidad: en torno a 1 m
- Anchura: 1/5 de la longitud

Tapado evitará la formación de algas.

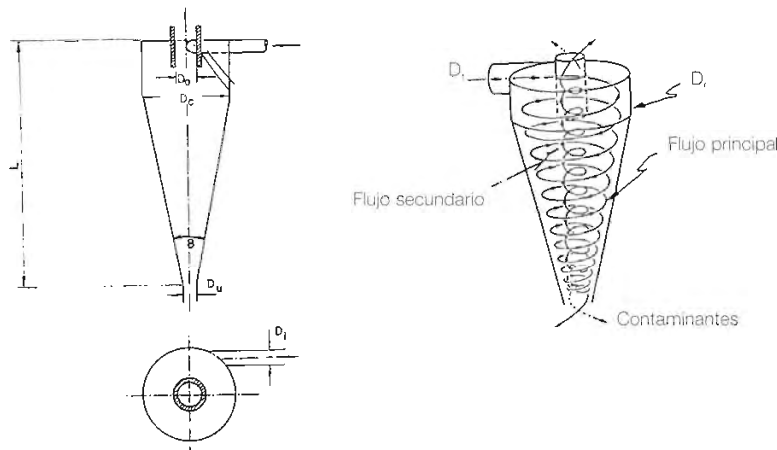
7.2.4. Hidrociclón

El hidrociclón es un dispositivo situado a la salida del equipo de bombeo, desprovisto de elementos móviles, que permite la separación de partículas sólidas en suspensión cuyo tamaño sea mayor a 75 micras y su densidad mayor que la del agua. Su colocación se hace, en este caso, necesaria cuando el agua no va a pasar por un depósito o embalse.

▼ Funcionamiento:

Consiste en un recipiente con forma de cono invertido en donde el agua entra tangencialmente por la parte superior, lo que provoca un movimiento rotacional descendente en la periferia del mismo. Las partículas sólidas en suspensión se proyectan contra las paredes y descienden hacia un depósito de sedimentos colocado en la parte inferior. La limpieza del hidrociclón se efectúa vaciando dicho depósito. El agua, libre de sedimentos, es impulsada en movimiento rotacional ascendente y sale por un tubo situado en la parte superior.

En el hidrociclón se producen unas importantes pérdidas de carga (de 3 a 5 m.c.a.), que dependen del caudal. Debido a su forma de funcionamiento, estas pérdidas de carga son independientes de la mayor o menor acumulación de sedimentos.



▲ Fig. 2: Esquema de un hidrociclón

7.3. Filtrado

El filtrado del agua consiste en retener las partículas contaminantes en el interior de una masa porosa (filtro de arena) o sobre una superficie filtrante (filtro de malla o filtro de anillas).

7.3.1. Filtro de Arena

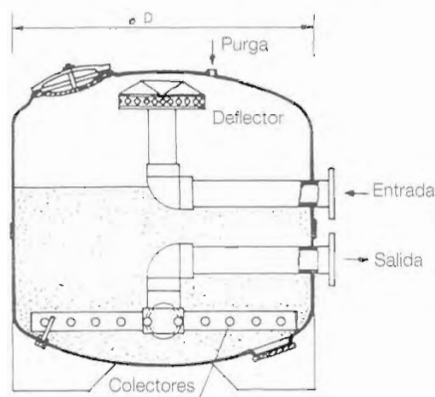
El filtro de arena se utiliza para retener lodo, arena fina (que no haya retenido el hidrociclón, si se dispone de él) y materia orgánica.

▼ Instalación:

Los filtros de arena se colocan en el cabezal, antes de los elementos que requieran agua limpia para su correcto funcionamiento, y nunca después del dispositivo de abonado, para evitar el desarrollo de microorganismos en la arena. Se debe colocar en alto para facilitar el cambio de arena.

En el riego por gravedad: No se deben poner a la salida del depósito (presión mínima para su correcto funcionamiento: 3 m.c.a.).

En grandes distancias hay peligro de aplastamiento por succión. Por tanto habrá de dotar la instalación, en este caso, de ventosas que permiten la entrada de aire en la red y así evitar este riesgo.



▲ Fig. 3: Esquema de un filtro de arena

▼ Tipo de arena:

Como norma general se debe utilizar *arena silícea* o de *bolitas de poliestireno expandido*. No sirve la arena de machaqueo. Debe ser uniforme, con un tamaño igual al diámetro de paso de agua en el gotero. El espesor de la capa de arena será, como mínimo, de 50 cm.

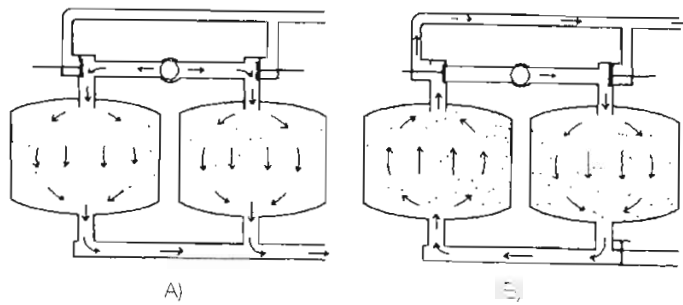
Para calcular el diámetro de un filtro hay que tener en cuenta que el flujo de agua debe ser, como máximo, de 1.000 l/min. por m² de superficie filtrante. La velocidad resultante es de 60 m/hora.

▼ Pérdida de carga:

A su paso por el filtro se sufre una pérdida de carga que, estando limpio, no debe sobrepasar los 3 m.c.a., aumentando progresivamente conforme el mismo se va contaminando. Cuando la diferencia de presión entre la entrada y la salida sea de 5 m.c.a., se debe proceder a su limpieza ya que puede ocurrir que se formen conductos a través de la capa de arena (canales preferentes) por donde pasa el agua sin filtrar. (Utilizar manómetros de medida perfectamente equilibrados).

▼ Limpieza:

La limpieza se efectúa invirtiendo el flujo del agua, para lo cual se proveen de antemano las correspondientes derivaciones en las tuberías de entrada y de salida. Para garantizar la limpieza conviene instalar dos filtros (cada uno de ellos con una superficie de filtrado de 1/2 de la total necesaria), de tal forma que el agua filtrada de uno de ellos sirva para la limpieza del otro. Esta limpieza se puede automatizar mediante un sistema que se acciona cuando la diferencia de presión entre la entrada y la salida alcanza el valor que le hayamos fijado. La operación de limpieza se hace durante 5 min., por lo menos, con el fin de remover bien la arena (el fango superficial se puede remover a mano, si es necesario) y eliminar los canales preferentes que se hayan podido formar en su interior.



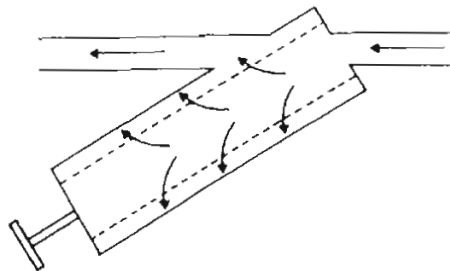
▲ Fig. 4: A) Funcionamiento de un filtro de arena en fase de filtración.
B) Funcionamiento en fase de lavado.

7.3.2. Filtro de Malla:

El filtro de malla retiene las impurezas en la superficie de unas mallas metálicas (inoxidables) o de material plástico (nylon, poliéster).

▼ Uso y situación:

Se colmatan con rapidez por cuya razón se usan para aguas prefiltradas o poco sucias y como elementos de seguridad, después de hidrociclones, filtros de arena y, sobre todo, equipos de fertirrigación. El fertilizante se inyecta entre el filtro de arena y el de malla. De esta forma no se favorece la formación de algas en el filtro de arena, y el de malla retiene las impurezas de los fertilizantes y los precipitados que se puedan formar. Deben estar fabricados con materiales no corrosibles o protegidos contra la corrosión.



▲ Fig. 5: Filtro de malla.- El agua proveniente de la tubería penetra en el interior del cartucho de malla y se filtra a través de sus paredes, pasando a la periferia del filtro y posteriormente a la conducción de salida. Las partículas filtradas quedan en la cara interior del cartucho de malla

▼ Nº de tamiz:

El tamaño de los orificios de la malla se mide por el *número de mesh* que es el número de orificios por cada pulgada lineal (es distinto entre las mallas de acero inoxidable y las de material plástico, ya que en estas últimas los hilos son más gruesos y, por tanto, hay menor número de orificios por pulgada lineal). El tamaño de los orificios de la malla debe ser 1/7 del tamaño del conducto del gotero. No se recomienda el uso de mallas de más de 200 mesh porque se obstruyen con mucha frecuencia. Cada fabricante deberá suministrar la información correspondiente a su producto.

Mallas de acero inoxidable: Relación mesh-tamaño de orificios.

<i>n° mesh</i>	<i>Orificio (m)</i>	<i>n° mesh</i>	<i>Orificio (m)</i>
3,5	5.600	32	500
4	4.700	35	425
5	4.000	42	355
6	3.350	48	300
7	2.800	60	250
8	2.360	65	212
9	2.000	80	80
10	1.700	100	150
12	1.400	115	125
14	1.180	150	106
16	1.000	170	90
20	850	200	75
24	750	250	63
28	600	—	—

▼ **Capacidad:**

- Para 50-200 mesh:

$$A_{ne} = A_e \times P$$

A_{ne} : Área neta efectiva del filtro

A_e : Área neta de orificios

P: Porcentaje de huecos del soporte

Se admiten 450 m³/h/m² superficie de orificios.

▼ **Velocidad y caudales recomendados:**

Caudales según velocidades

Velocidad en m/seg.	Caudal por m² de A_{ne}, en m³/h
0,4	1.440
0,6	2.160
0,9	3.240

Velocidad recomendada en filtros de malla

Tamaño del orificio	Clase de agua	Velocidad (m/seg.)
300-125	Limpia	0,4-0,9
300-125	Con algas	0,4-0,6
125-75	Cualquiera	0,4-0,6

En un filtro limpio, la pérdida de carga es de 1 a 2 m.c.a. (datos del fabricante) y se efectuará su limpieza cuando ésta alcance una diferencia entre la entrada y la salida superior a los 2 m.c.a., una vez descontada la pérdida de carga inicial. La limpieza del filtro se realiza sacando el cartucho filtrante y lavándolo con un cepillo y agua a presión. También puede realizarse sumergiéndolo en una disolución de ácido, lavándolo posteriormente con agua a presión. Hay dispositivos de limpieza automatizada muy parecidos a lo que se dijo en su momento en relación con los filtros de arena.

7.3.3. Filtro de Anillas

Cumple la misma función que el filtro de mallas. Es muy utilizado por su fácil limpieza. La calidad de filtrado vendrá determinada por el radio de las anillas y el color de éstas.

▼ Pérdida de carga y limpieza:

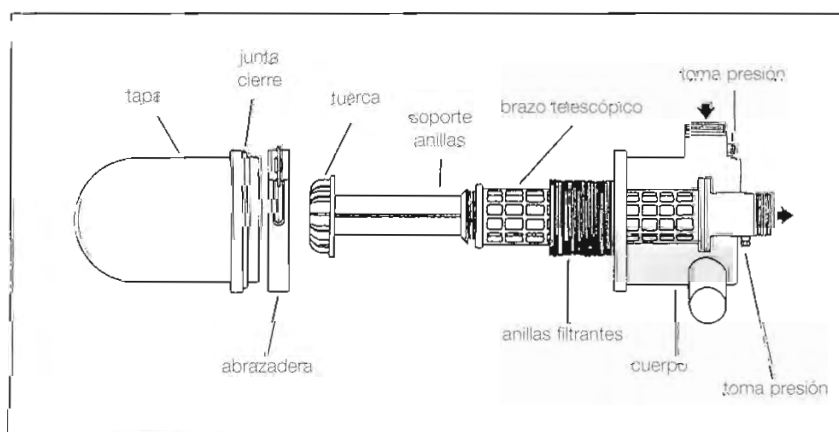
La pérdida de carga es de 1 a 3 m.c.a. (datos del fabricante) y se efectuará su limpieza cuando ésta alcance una diferencia entre la entrada y la salida superior a los 2 m.c.a., una vez descontada la pérdida de carga inicial.

La limpieza del filtro se realiza sacando las anillas y lavándolas con un cepillo y agua a presión. También puede realizarse sumergiéndolas en una disolución de ácido, lavándolas posteriormente con agua a presión.

▼ N° de ranuras:

El filtrado depende del nº de ranuras y de su tamaño. Éste oscila entre 0,42 y 0,11 mm.

COLOR	MESH	MICRÓN	mm
blanco	18	800	0,8
azul	40	400	0,4
amarillo	80	200	0,2
rojo	120	130	0,13
negro	140	115	0,12
verde	200	75	0,08
gris	600	25	0,025



▲ Fig. 6: Filtro de anillas

▼ Características exigibles a los filtros

- Alta capacidad de filtrado
- Bajo costo
- Pocas pérdidas de carga
- Fácil limpieza
- Permitir la limpieza a grandes intervalos
- Pocos o ningún elemento metálico
- Diseñarlos con un 20% de exceso (permitir cierta colmatación. No en hidrociclón)
- Permitir la automatización

7.4. Equipos de Fertirrigación

(Ver capítulo 13)

Son los encargados de incorporar al agua de riego fertilizantes, productos de limpieza, fitosanitarios, etc. Como en el caso de los filtros de malla, estarán fabricados con materiales no corrosibles o protegidos contra la corrosión.

7.4.1. Fertilización no Proporcional - Inyección no Constante

- ▼ Tanques de derivación

7.4.2. Fertilización Proporcional - Inyección Constante

- ▼ Inyector venturi
- ▼ Dosificadores eléctricos e hidráulicos
- ▼ Inyección en la aspiración
- ▼ Balsa auxiliar

7.4.3. Fertilización Proporcional Automatizada - Concentración Constante

- ▼ Inyectores dosificadores porcentuales
- ▼ Emisor de impulsos proporcionales
- ▼ Medición de la conductividad

7.4.4. Agitadores

Son mecanismos que sirven para mantener la homogeneidad de la disolución, evitando la precipitación del abono disuelto.

Sistemas:	→	- de turbina
		- de hélice
		- de inyección de aire (burbujas)

8. Tuberías

8.1. Materiales

Las tuberías que se utilizan en instalaciones de riego localizado suelen ser de material plástico, bien de PVC (policloruro de vinilo) o de PE (polietileno). Estos materiales tienen la gran ventaja de presentar menores costes para presiones de trabajo y caudales bajos o medios (como ocurre en riego localizado), además de facilitar su montaje y de no ser atacadas por los fertilizantes y sustancias ácidas.

En algunas ocasiones y para diámetros importantes se puede emplear el fibrocemento que compite en precio con el PVC.

8.2. Presión Nominal (Pn)

Es la presión que sirve para tipificar, clasificar y timbrar tanto los tubos como las piezas especiales.

Según la normativa española (Normas UNE) se define como "el valor de la presión interna para la cual se ha diseñado el tubo con un coeficiente de seguridad que puede mantenerse sin fallo durante 50 años, teniendo en cuenta un método de extrapolación definido en condiciones estáticas, para una sección dada del tubo que contiene agua a 20 °C. El coeficiente de seguridad tiene en cuenta las fluctuaciones de los parámetros que se pueden producir normalmente durante el uso continuado del material".

8.3. Presión de Trabajo (Pt)

Es el valor de la presión máxima interior a la que en servicio puede estar sometido un tubo a la temperatura de utilización.

A 20°C las normas UNE establecen que la Pt se corresponde con la Pn, debiéndose aplicar para otras temperaturas el factor de corrección que se indica en la tabla siguiente:

Material	Factor "f "					
	0<T≤20	20<T≤25	25<T≤30	30<T≤35	35<T≤40	40<T≤45
PVC	1	1	0,8	0,8	0,63	0,63
PE 50A	1	0,8	0,63	0,5	0,4	0,32
PE 50B	1	0,8	0,63	0,5	0,4	0,32
PE 32	1	0,75	0,56	0,44	0,36	–

Una vez estimada la temperatura, $P_t = f \times P_n$. De aquí se deduce que la Pt disminuye a medida que aumenta la temperatura del agua.

8.4. Unidades de Presión

Aunque las normas UNE establecen como unidad de presión el megapascal (MPa), en la práctica se suelen utilizar otras unidades como la atmósfera, kg/cm² y m.c.a (metro de columna de agua).

La equivalencia entre estas unidades es la siguiente:

$$1 \text{ MPa} = 10,2 \text{ kg/cm}^2 = 102 \text{ m.c.a.}$$

$$1 \text{ atm} = 1.033 \text{ kg/cm}^2 = 10,33 \text{ m.c.a.}$$

A efectos de trabajo: $1 \text{ atm} \approx 1 \text{ Kg/cm}^2 \approx 1 \text{ bar} \approx 0,1 \text{ MPa} \approx 10 \text{ m.c.a}$

8.5. Diámetro Nominal

Sirve para clasificar por dimensiones los tubos, piezas especiales y demás elementos de las conducciones. Se corresponde con el diámetro exterior teórico declarado por el fabricante y a partir del cual se establecen las tolerancias. Se mide en milímetros (mm).

Es muy corriente que las tuberías de plástico y sus accesorios se designen por un diámetro expresado en pulgadas (") que suele aproximarse al diámetro interior. La correspondencia entre este diámetro en pulgadas y el diámetro nominal exterior es el siguiente:

D en pulgadas	Dn (mm)
1/4"	12
3/8"	16
1/2"	20
3/4"	25
1"	32
1 1/4"	40
1 1/2"	50
2"	63
2 1/2"	75
3"	90

8.6. Tuberías de PVC

Son tubos de plástico rígido que se fabrican a partir de una materia prima compuesta esencialmente por resina sintética de polícloruro de vinilo técnico que ha sido mezclada con la proporción mínima indispensable de aditivos colorantes, estabilizantes y lubricantes y, exenta de plastificantes y materias de relleno (fillers).

En Europa, industrialmente se denominan tubos de PVC no plastificados ó UPVC, aunque está extendido la designación de PVC (aceptada por la norma UNE).

Este tipo de tuberías se encuentra regulado por la norma UNE-53.112, la cual establece 4 tipos de presiones nominales: 4, 6, 10 y 16 atm (0,4, 0,6, 1 y 1.6 MPa).

Estos tubos no se pueden emplear al aire libre ya que los rayos solares actúan descomponiendo los polímeros de PVC, de ahí que siempre se coloquen enterradas.

Su resistencia a la succión o aplastamiento es débil, por lo que deben permanecer llenos de agua, siendo conveniente la instalación de válvulas adecuadas para evitar su vaciado. Al ser tubería muy rígidas presentan mayores problemas de sobrepresión (golpe de ariete) que el PE.

La longitud standard de estos tubos es de 5 m. para tubos de diámetro hasta 50 mm (\varnothing 50) y de 6 m. desde 63 mm (\varnothing 63).

La unión de los tubos puede realizarse mediante 2 sistemas : unión por encolado y unión por junta elástica. En el primer sistema, un extremo del tubo es liso mientras que el otro extremo presenta un abocardado que facilita la unión. Para realizar la unión se debe emplear un disolvente seguido de una cola. Normalmente se efectúa para tuberías de hasta 50 mm de diámetro, siendo conveniente realizar una junta elástica cada 100 m. con el fin de absorber las dilataciones que se puedan producir.

En el sistema de unión por junta elástica , ésta se realiza mediante un anillo de goma elástica que se aloja en una ranura de un extremo abocardado. Se suele emplear para tuberías desde 63 mm, no necesitando juntas de dilatación.

Tanto los tubos de PVC como sus accesorios (codos, reducciones,...) deben llevar una marca indeleble que contenga al menos la siguiente información:

- Designación comercial
- Siglas "PVC"
- Diámetro nominal (mm)
- Presión nominal (MPa)
- Referencia a la norma UNE (53.112)

Como norma general, la tubería de PVC suele ser más barata que la de polietileno (PE) para diámetros iguales o superiores a 50 mm.

Las instalaciones de riego focalizado deben concebirse para una duración media de 10/20 años, de ahí que a la hora de seleccionar los diferentes materiales el agricultor, además del precio, deba valorar también las garantías que le ofrecen los diferentes fabricantes o distribuidores.

8.7. Tuberías de Polietileno

El polietileno (PE) es un plástico derivado del etileno, al que se somete a un proceso de calor y presión que provoca su polimerización.

Los tubos de PE se producen a base de resina de polietileno y un aditivo de negro de humo que impide su deterioro cuando se expone a la luz.

Con respecto al PVC presenta dos ventajas importantes: se pueden instalar al aire libre y además son más flexibles y menos frágiles.

Como desventaja, los tubos de PE son menos resistentes que los de PVC. Por este motivo, para unos valores determinados de diámetro y presión nominales, el espesor del tubo ha de ser mayor, por lo que son más caros.

Se fabrican 3 tipos de tuberías de PE dependiendo de su densidad: de baja densidad (PE 32), de media densidad (PE 50B) y de alta densidad (PE 50A).

El polietileno de baja densidad (PE 32), también conocido como PEBD es el más utilizado en riego localizado debido a su mayor flexibilidad.

Para PE 32 se sigue la norma UNE 53.367, según la cual deben llenar un marcado indeleble como mínimo cada metro de longitud donde se indique:

- Designación comercial
- PEBD ó PE 32
- Diámetro nominal
- Espesor nominal
- Presión nominal
- Año de fabricación
- Marca de calidad o "N" de AENOR (en su caso)
- Referencia a la norma UNE

Para conducciones de agua a presión, las características y los métodos de ensayos para los 3 tipos de tubos de PE están regulados por la norma UNE 53.131.

Aunque la normativa española establece 3 presiones nominales: 4, 6 y 10 atm (0,40, 0,6 y 1 MPa) y diámetros nominales desde 10 hasta 900 mm, a nivel comercial y para riego localizado, es muy frecuente encontrar tubos no normalizados de presiones y diámetros inferiores.

También es muy corriente que un número importante de fabricantes utilicen polietileno regenerado, lo que se traduce en un producto final de calidades muy heterogéneas, debiéndose prestar máxima atención a la hora de su compra.

La tubería de polietileno se sirve en rollos, existiendo en el mercado una gama muy amplia de tomas, empalmes, conexiones y derivaciones.

Conviene resaltar el PE se dilata y contrae mucho con la temperatura (unos 15 cm/100 m para incrementos de t° de 10°C), de ahí que convenga enterrarla cuando está fría (primeras horas de la mañana) o bien colocarla formando ondulaciones.

9. Emisores

9.1. Introducción

En el sistema de riego localizado el agua se suministra al cultivo gracias a unos dispositivos llamados emisores que regulan la salida del agua. Normalmente el riego se realiza gota a gota, de ahí que se suelen utilizar los términos gotero y riego por goteo como sinónimos de emisor y riego localizado, respectivamente.

Los emisores pueden controlar la salida del agua en puntos discretos o continuos, trabajando la mayoría de ellos a presiones próximas a 1 Kg/cm^2 (10 mca).

A la hora de elegir un tipo de emisor conviene valorar, entre otros, los siguientes aspectos:

1. Caudal uniforme y constante, poco sensible a las variaciones de presión.
2. Poca sensibilidad a obturaciones.
3. Alta uniformidad de fabricación.

4. Resistente a las condiciones de trabajo (interperie, fertirrigación,...)
5. Buena relación precio/calidad
6. Poca sensibilidad a cambios de temperatura.
7. Poca pérdida de carga en las conexiones.

Como se verá más adelante en el capítulo "diseño de una instalación básica de riego localizado", la elección del caudal unitario del emisor (litros/horas) y el número emisores/planta van a tener una gran incidencia en el dimensionamiento de la instalación de riego localizado.

9.2. Relación Caudal-Presión

Para cualquier emisor convencional, el caudal que proporciona depende de la presión de servicio existente a la entrada del mismo

La relación existente entre caudal y la presión de trabajo es la siguiente:

$$q = k \cdot h^x$$

donde, "q" es el caudal del emisor en litros/hora, "k" el coeficiente de descarga, "h" la presión de trabajo (m.c.a.) y "x" el exponente de descarga.

Los valores "k" y "x" son característicos de cada emisor, de ahí que deban ser proporcionados por el fabricante.

El exponente de descarga "x" (que toma valores entre 0 y 1) nos indica la sensibilidad del emisor a la variación de caudal. Interesa que este valor sea bajo, cuando se aproxima a cero (caso de goteros "autocompensantes") el caudal varía muy poco con los cambios de presión, lo que simplifica el diseño de la instalación de riego al permitir una menor sectorización ya que los sectores de riego pueden cubrir mayor superficie.

En el caso de emisores de dudosa calidad, el fabricante suele proporcionar un único punto de la curva caudal-presión (por ejemplo 4 l/h a 10 m.c.a.) Si optamos por un emisor de este tipo a la hora de diseñar la instalación de riego estaremos trabajando a ciegas, con el consecuente riesgo de no conseguir una buena uniformidad de riego.

Los fabricantes que ofrecen mayores garantías suelen proporcionar junto al emisor una hoja informativa donde se especifican sus características técnicas así como la representación gráfica de la curva caudal-presión o en su defecto, una tabla con una serie parejas de valores caudal/presión correspondientes a dicha curva.

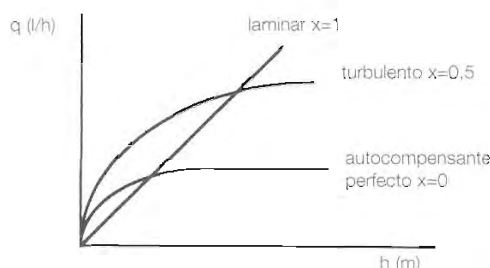
En el supuesto de que el fabricante no proporcione esta información podemos hacer un sencillo ensayo consistente en someter al gotero a dos presiones distintas (h_1 y h_2) y aforar los respectivos caudales (q_1 y q_2). Estos resultados permitirán obtener los valores "k" y "x" de la curva característica mediante las fórmulas:

$$x = \frac{\log (q_1 / q_2)}{\log (h_1 / h_2)}$$

$$K = \frac{q_1}{(h_1)^x}$$

A modo ilustrativo se exponen a continuación las curvas características de 3 tipos de goteros, cada uno de ellos con un régimen hidráulica diferente:

Relación q-h



Los goteros que trabajan en régimen laminar son muy sensibles a los cambios de presión. En estos goteros el caudal viene influido por la viscosidad del agua y, por tanto, por su temperatura. De esta forma, para una presión de trabajo dada, a mayor temperatura corresponde mayor caudal. Este hecho se presenta en los tramos finales de un ramal portagotero expuesto al sol donde la menor velocidad del agua favorece su calentamiento y por tanto un mayor caudal del gotero, salvo que se compense con la pérdida de carga que se produzca en dicho ramal.

Estas desventajas del régimen laminar han motivado que durante los últimos años el mercado haya evolucionado hacia goteros de régimen turbulento y cada vez más hacia goteros autocompensantes.

9.3. Sensibilidad a las Obturaciones

Como se comentó en el apartado 1, la sensibilidad a las obturaciones es uno de los aspectos que se tienen que valorar a la hora de seleccionar el emisor.

El riesgo de obstrucción de un emisor depende de los factores siguientes:

- Diámetro mínimo de paso
- Velocidad del agua
- Sistema de filtrado
- Diseño de emisor

Los emisores de bajo caudal (< 16 l/h) son los que presentan mayor peligro de obturación al presentar los diámetros más pequeños.

Diámetro mínimo (mm)	Sensibilidad a las obturaciones
$\leq 0,7$	Alta
0,7 - 1,5	Media
$> 1,5$	Baja

Con relación a la velocidad del agua, cuanto menor sea, mayor será el riesgo de sedimentación.

El sistema de filtrado del cabezal de riego debe estar dimensionado para impedir el paso de partículas sólidas de diámetro superior a $1/10$ del diámetro de la sección de paso del emisor. Cuando se trate de microaspersores y difusores, este valor se puede aumentar a $1/5$ del diámetro debido a la mayor velocidad del agua.

Finalmente habrá que considerar el diseño o configuración del emisor. Si el recorrido del agua en su interior es muy tortuoso, se podrá producir sedimentación en los puntos donde se presente un cambio brusco de la trayectoria del agua. Por otro lado, los materiales transparentes permitirán el desarrollo de algas microscópicas, de ahí que estos materiales deben estar siempre tapados o enterrados (caso de las cintas de exudación).

9.4. Coeficiente de Variación de Fabricación (C.V.)

Si tomamos varios goteros de un mismo fabricante y los sometemos a una presión de trabajo determinada, por ejemplo a 15 mca (4,5 Kg/cm²), podremos observar que los caudales que proporcionan no son exactamente iguales.

El proceso de fabricación y los materiales empleados hacen que los goteros obtenidos no sean exactamente iguales y por tanto, que sus caudales sean diferentes.

Este factor de tipo constructivo tiene gran influencia en la uniformidad de una instalación de riego, de ahí que se deba prestar especial interés a la hora de elegir un determinado modelo comercial.

Para reflejar la bondad de la fabricación de un emisor se recurre al coeficiente de variación de fabricación (C.V.) que se expresa en tanto por uno, estableciéndose las siguientes categorías al respecto:

▼ Categoría A (emisores de elevada uniformidad):	→	C.V. < 0,05
▼ Categoría B (emisores de baja uniformidad):	→	0,05 ≤ C.V. ≤ 0,10

Este coeficiente es independiente de la presión de prueba, siempre que estemos dentro de la zona de trabajo normal del emisor. Interesa que sea lo más bajo posible.

Si el fabricante no proporciona este coeficiente, lo podemos estimar tomando 25 goteros y midiendo los caudales que arrojan a la presión de trabajo nominal. Para ello se emplea la siguiente fórmula

$$C.V. = \frac{\sigma}{q_a}$$

donde "q_a" es el caudal medio de los goteros ensayados y "σ" la desviación típica (raíz cuadrada de la media aritmética de los cuadrados de las desviaciones respecto de la media).

El siguiente ejemplo puede servir para facilitar la comprensión de su cálculo:

- nº de goteros ensayados: 25
- presión nominal: 10 mca
- caudales (l/h): 1,82, 1,83, 1,84, 1,85, 1,87, 1,89, 1,89, 1,91, 1,94, 1,95, 1,97, 1,99, 1,99, 2,00, 2,02, 2,04, 2,05, 2,05, 2,07, 2,08, 2,09, 2,10, 2,13, 2,15, 2,17

$$q_a = (1,82 + 1,83 + 1,84 + \dots + 2,13 + 2,15 + 2,17) / 25 = 1,99 \text{ l/h}$$

$$\sigma^2 = (1,82 - 1,99)^2 + (1,83 - 1,99)^2 + \dots + (2,15 - 1,99)^2 + (2,17 - 1,99)^2 / 25 = 0,011$$

$$\sigma = 0,105$$

$$C.V. = \sigma / q_a = 0,105 / 1,99 = 0,053 \text{ (Categoría B)}$$

9.5. Identificación del Emisor

Hoy día son muchas las casas comerciales que fabrican emisores sin sujetarse a normas y sin cumplir unos requisitos mínimos de identificación y control de calidad.

En lo referente a la identificación del emisor, las normas ISO establecen que cada emisor debe llevar de forma clara y permanente las siguientes indicaciones:

- Nombre del fabricante o marca comercial
- Caudal nominal (litros/hora)
- La letra "A" o "B" según su C.V.
- Sentido del flujo del agua (cuando sea necesario)

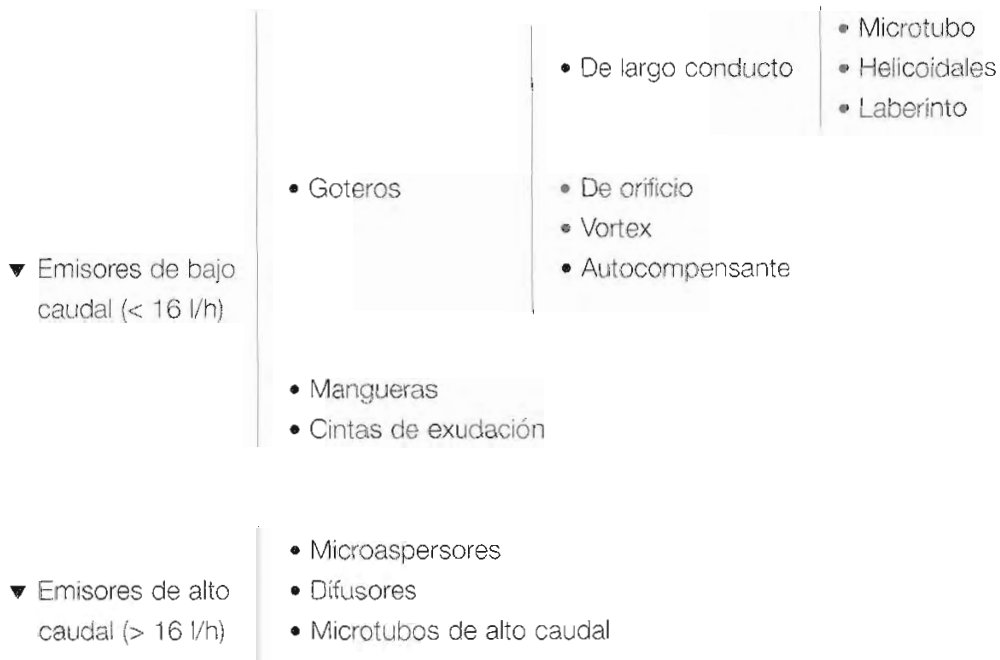
El caudal nominal puede indicarse mediante un determinado color en alguna parte del emisor o por algún otro método señalado en el catálogo comercial.

Por otro lado, el fabricante debe proporcionar por escrito la información complementaria que a continuación se relaciona:

1. Número de catálogo emisor
2. El texto "Uniformidad Categoría A" o "Uniformidad Categoría B" y su C.V.
3. Tipo de tubería aconsejable
4. Sistema de conexión del emisor
5. Dimensión mínima del paso de agua del emisor
6. Caudal nominal
7. Presión nominal de ensayo
8. Intervalo de presiones de funcionamiento
9. Intervalo de autocompensación (si procede)
10. Curva caudal-presión
11. Ecuación del emisor
12. Instrucciones para conectar el emisor a la tubería
13. Instrucciones de limpieza y sustitución del emisor
14. Instrucciones para prevenir la obturación del emisor
15. Limitaciones de uso del emisor (productos químicos,...)
16. Necesidades de filtrado
17. Mantenimiento y condiciones de almacenaje
18. Caudal nominal en proceso de lavado (si corresponde)
19. Longitud equivalente en metros de tubería por la pérdida de carga originada por la conexión emisor-ramal de riego

9.6. Clasificación de Emisores

Existen numerosas clasificaciones en función del aspecto que se desee considerar. En función del caudal que proporciona se suele establecer la siguiente clasificación:



9.6.1. Emisores de Bajo Caudal

9.6.1.1. Goteros de largo conducto

▼ Microtubo

Consiste en un tubo que suele ser de polietileno, de pequeño diámetro y con longitud variable. Su exponente de descarga próximo a 1 pone de manifiesto un régimen laminar, de ahí que sean muy sensibles a la temperatura y presenten un alto riesgo de obturación.

Para una determinada presión, el caudal aumenta al disminuir la longitud del microtubo. Aunque tienen un bajo coste, en la actualidad se emplean poco.

▼ Helicoidales

Es una variante del gotero anterior, mucho más compacto, donde el agua experimenta una trayectoria helicoidal. El exponente de descarga suele estar comprendido entre 0,65 y 0,75, lo que implica una menor sensibilidad que el microtubo a la temperatura, presión y obturación. Al igual que la mayoría de los goteros, suele ser de polipropileno.

▼ De laberinto

Son los más avanzados dentro de este grupo de emisores. En su interior el agua recorre un largo y tortuoso conducto. El régimen hidráulico es turbulento. ($x = 0,5$), de ahí que sean muy poco sensibles a la temperatura y menos que los helicoidales a la presión y obturaciones. Son los más utilizados hoy día.

▼ Goteros de orificio

En este gotero el agua sale al exterior a través de uno o varios orificios de pequeño diámetro donde se produce la disipación de presión. Su exponente de descarga es también de tipo turbulento ($x = 0,5$), siendo muy frecuente que se presenten problemas de obturación debido al pequeño orificio de salida.

▼ Vortex

Se trata de un tipo de gotero de orificio en el que el agua después de atravesar el orificio entra tangencialmente en una cámara circular donde se produce un flujo vorticial. Su exponente de descarga se aproxima a 0,4, lo que denota cierto carácter auto-compensante. A diferencia del resto de los goteros, su caudal disminuye al aumentar la temperatura del agua.

Al igual que ocurre con el grupo anterior, la sensibilidad a la obturación es su principal asignatura pendiente. Son bastante económicos.

▼ Autocompensantes

Presentan la particularidad de proporcionar un caudal prácticamente constante para una amplia gama de presiones de trabajo. Su funcionamiento se basa en un elemento flexible que actúa como limitador de caudal al deformarse más o menos en función de la presión aguas arriba y aguas abajo. El exponente de descarga se encuentra entre el intervalo 0 - 0,4. Con el tiempo puede ir perdiendo su carácter autocompensante.

Aunque son los más caros y su uso está especialmente indicado para terrenos con importantes desniveles, cada vez se está generalizando más su empleo (especialmente en el caso de goteros embutidos) por las grandes ventajas que supone poder emplear laterales de riego con varios centenares de metros de longitud.

▼ Mangueras

Son tuberías que distribuyen el agua a través de pequeños orificios que se han practicado en sus paredes. Los puntos de emisión suelen estar muy próximos, lo que las hace muy adecuadas para el riego de cultivos en línea. Son de corta duración.

La presión nominal de estos emisores suele estar comprendida entre 0,7 y 1 Kg/cm^2 . Puede presentar problemas de obturación.

En algunos casos consisten en dos conductos paralelos, uno principal, del que el agua para el secundario a través de un orificio que provoca una primera pérdida de carga, y el conducto secundario, del que el agua sale al exterior por un segundo orificio.

En otros casos los diámetros de las mangueras de riego suelen ser distintos a los que habitualmente se emplean en tuberías portagoteros, lo que requiere el empleo de accesorios especiales.

▼ Cintas de exudación

En el mercado existe una cinta conocida comercialmente con el nombre "Víafla" que está fabricada con un plástico poroso especial, llamado Tyvek, que no

siendo ni un film, ni una tela, ni un papel, combina muchas de las buenas calidades de estos productos.

Esta cinta que trabaja a muy baja presión (menos de 4 mca), se infla y forma un tubo que permite el paso del agua a través de sus poros micrométricos (de 4 a 5 micras), exudando el agua a lo largo de su longitud. El resultado final es una banda continua de humedad que aporta un caudal de 0,3 a 1,5 l/h por metro lineal dependiendo del tipo de Vialfo y de la presión de trabajo.

Como presenta cierta transparencia debe ir ligeramente enterrada para evitar la proliferación de algas. También puede colocarse bajo acolchado de plástico negro, caso del cultivo del fresón en la costa de Huelva. En frutales puede trabajar como emisor conectando varios metros de longitud de esta cinta a un lateral convencional de polietileno.

Para conseguir una buena uniformidad de riego se requiere que el terreno presente poco desnivel, colocando la cinta en el sentido de la pendiente. Se recomienda que la longitud de la cinta no supere los 80 m. distancia que puede ser mayor en el caso de alimentación por ambos extremos. Presenta problemas de obstrucciones, de ahí que se deba prestar especial interés al filtrado del agua.

9.6.2. Emisores de Alto Caudal

9.6.2.1. Microaspersores

Son emisores de riego localizado que distribuyen el agua en forma de gotas o de pequeños chorros, y que disponen de uno o varios elementos giratorios. El área mojada suele ser generalmente circular.

Los más extendidos son los de "bailarina", que cuentan con un elemento diseñado de tal forma que al pasar el agua a una cierta velocidad produce el movimiento giratorio del mismo.

El caudal va a depender del tipo de boquilla y de la presión de trabajo, pudiéndose alcanzar en algunos casos caudales próximos a los 150 l/h. El rango de presiones de trabajo suele ser de 1,5 a 3 Kg/cm² (15 a 30 mca).

Pueden ir montados sobre una varilla soporte o lanza, o bien directamente sobre el lateral de riego, precisando en cualquier caso una mayor sección del lateral que los emisores de bajo caudal al ser considerablemente mayor su caudal de descarga.

Algunos modelos incorporan un accesorio denominado "antimist" que aumenta el tamaño de las gotas mejorando la distribución del agua, muy recomendado en el caso de instalaciones al aire libre.

Se suelen emplear en viveros, parques y jardines, en instalaciones de frutales al aire libre (especialmente en el caso de suelos arenosos), así como en algunos cultivos hortoflorícolas. También puede servir para riego antiheladas.

Existen en el mercado modelos autocompensantes, que permiten su utilización un amplio rango de presiones proporcionando un caudal regulado y constante.

9.6.2.2. Microdifusores (Microjets)

Son emisores que distribuyen el agua en forma de gotas o de pequeños chorros y que, a diferencia de los microaspersores, no disponen de elementos móviles.

En este caso el agua se distribuye al impactar el chorro a presión con una pieza denominada "difusor", que para determinados modelos puede producir una nebulización. Según el tipo de difusor, la superficie mojada puede ser circular o sectorial

Al igual que los microaspersores, puede ir montado sobre una lanza y conectado al ramal de PE por un tubito flexible o bien directamente pinchado sobre el ramal.

El rango de presiones de trabajo suele ser similar (1,5 - 3 Kg/cm²), aumentando también el caudal con la presión y el diámetro de la boquilla. Sin embargo, a diferencia del microaspersor, el alcance del agua es menor debido al menor tamaño de gota, de ahí que la uniformidad de riego sea inferior y esté muy influenciada por el viento.

Está especialmente indicado en jardinería e invernaderos (especialmente para favorecer la implantación del cultivo tras el trasplante, como ocurre con los cultivos de clavel y miniclavel).

Con el fin de evitar el problema de la dispersión del agua por el viento, se desarrollaron los Microjets. Son emisores que disponen de un mayor diámetro de boquilla y de una pieza difusora con una serie de ranuras radiales que provoca la emisión de agua en pequeños chorros menos sensibles al efecto del viento.

Asimismo, existen modelos autocompensante que están especialmente indicados para el riego en laderas y terrenos ondulados que permiten un caudal regulado, constante y uniforme.

9.6.3. Otras Clasificaciones

▼ Por su inserción

- En línea
- Sobre línea (pinchado)
- Integrado

▼ Por su fabricación

- Sellado
- Desmontable
- Con tubería como carcasa

10. Válvulas y Elementos Singulares

10.1. Válvulas Manuales

10.1.1. Válvulas de Esfera

En este tipo de válvulas el elemento de cierre es una esfera sobre la que se ha realizado un talador cilíndrico, cuando el orificio practicado está alineado con la tubería, la válvula se encuentra totalmente abierta permitiendo el paso del agua. Cuando el orificio se encuentra en posición perpendicular al eje de la tubería el paso del agua está impedido, la válvula se encuentra totalmente cerrada. La posición del orificio respecto al eje de la tubería permite posiciones intermedias con lo que se consigue controlar el paso de agua a través de la conducción. Son las más recomendadas para diámetros inferiores a 2" - 2 1/2".

10.1.2. Válvulas de Compuerta

El elemento de cierre es una compuerta perpendicular al eje de la tubería, cuando la válvula está totalmente abierta la compuerta no ocupa ningún espacio en el paso de la tubería. El desplazamiento de la compuerta hasta ocupar todo el espacio de la tubería permite limitaciones parciales de paso de agua.

Sobre la compuerta de estas válvulas el agua ejerce presión, dificultando la apertura y cierre de las mismas, para evitar estos problemas y otros derivados de sobrepresiones en la instalación debido al cierre y apertura rápida de válvulas, este tipo de válvulas llevan un accionamiento especial.

10.1.3. Válvulas de Mariposa

El elemento de cierre es un disco que gira alrededor de un eje perpendicular al de la tubería, cuando el disco se encuentra perpendicular a la tubería la válvula está cerrada y cuando está alineado con la tubería la válvula está abierta. Este tipo de válvulas tiene la ventaja respecto a las anteriores que su apertura y cierre es mucho más fácil.

10.2. Válvulas Automáticas

Son todas aquellas válvulas que no requieren accionamiento manual.

10.2.1. Válvulas Hidráulicas

Son válvulas que permiten la apertura o cierre del paso de agua accionadas por una orden hidráulica. Se pueden distinguir entre:

- ▼ normalmente abiertas
- ▼ normalmente cerradas

10.2.1.1. Válvulas hidráulica normalmente abierta

Son válvulas que se cierran al recibir una orden hidráulica. Básicamente consisten en:

realiza debido a la atracción que ejerce un solenoide (bobina de cobre al rededor de un núcleo ferromagnético).

Las tensiones más usuales de funcionamiento de las electroválvulas son 12 y 24 V, también se pueden encontrar modelos que funcionan a tensiones de 110 y 220 V.

Las electroválvulas son elementos fundamentales para la automatización de las instalaciones de riego.

Existen en el mercado válvulas de bajo consumo para situaciones en que no se dispone de energía eléctrica cercana a la válvula, sólo consumen energía al abrir y al cerrar.

10.3. Válvulas Ventosas

Son dispositivos que instalados en la red permiten la evacuación o introducción de aire en la misma. La presencia de aire en el interior de las conducciones se puede deber a diferentes causas, como son:

▼ El agua tiene un contenido de aire disuelto que depende de la temperatura a la que se encuentre y la presión a la que esté sometida, cuando hay una variación de estos dos parámetros (temperatura y presión), puede existir una liberación de aire disuelto.

▼ Entradas de aire del exterior, se produce cuando una tubería aspira agua desde un lugar abierto, ya que junto a ella se aspira aire en forma de pequeñas burbujas. También se puede producir a través de accesorios defectuosos.

▼ Aspiración de aire en los equipos de bombeo, al poner en funcionamiento el equipo de bombeo, el aire que está acumulado en sus partes internas, es empujado al interior de la red de riego.

▼ Descarga incompleta de aire durante el llenado de las tuberías, el aire existente en una instalación de riego parada no es expulsado completamente cuando esta se pone en funcionamiento, tendiendo a acumularse aire en los puntos elevados de la instalación.

▼ Cuando se produce la parada del equipo de bombeo y el vaciado de las tuberías, pueden originarse depresiones que den lugar a aplastamiento de la tubería, por lo que es necesario permitir la entrada de aire de forma controlada.

- Las válvulas ventosa pueden clasificarse en:

▼ Válvulas de efecto automático:

Son dispositivos que evacuan de forma automática el aire acumulado en los puntos elevados de las conducciones, cuando la instalación está en funcionamiento.

Consisten en una boya o flotador, que al llegar aire hasta ella descende permitiendo la salida de este, una vez evacuado el aire el nivel de agua llega hasta la boya, empujándola hacia arriba lo que permite cerrar el orificio de salida.

Las bajadas y subidas de la boya se repiten de forma automática tantas veces como sea necesario.

▼ Válvulas ventosa de efecto cinético:

El funcionamiento es idéntico a las anteriores, pero se diferencian en que actúan cuando no existe presión en la tubería.

Se instalan fundamentalmente para evacuar el aire existente en las tuberías al ponerlas en funcionamiento y para permitir la entrada de aire del exterior que ocupe el vacío dejado por el agua al interrumpirse el funcionamiento de la instalación.

Este tipo de válvulas ventosa se caracterizan por permitir evacuar grandes cantidades de aire y por ser incapaces de eliminar las pequeñas cantidades de aire acumuladas cuando la instalación está en funcionamiento.

▼ **Válvulas ventosas de doble efecto:**

Son ventosas que combinan las funciones de las de efecto automático y las de efecto cinético.

Se caracterizan por poseer dos orificios de salida, durante las operación de llenado de las tuberías, al ponerse en funcionamiento la instalación y durante el vaciado de estas al cesar el funcionamiento, el aire entra y sale respectivamente a través del orificio de mayor dimensión, comportándose como válvula de efecto cinético. Durante el funcionamiento de la instalación las pequeñas cantidades de aire acumulado se eliminan a través del orificio de menor dimensión, comportándose como válvula de efecto automático.

▼ **Dimensionamiento de las válvulas ventosas:**

Un método simplificado que permite seleccionar la válvula ventosa adecuada a unas necesidades concretas es considerar que el diámetro de la misma debe estar entre 1/4 y 1/3 del diámetro de la tubería. De esta forma los fabricantes presentan tablas para la selección rápida del tamaño de la ventosa, que para los objetivos fijados en esta unidad es suficiente.

Ejemplo:

Diámetro tubería	3"-10"	12"-16"	18"-22"	24"-36"
Diámetro válvula	2"	3"	4"	6"

▼ Localización óptima de las válvulas ventosa:

▼ **Válvulas ventosa de efecto automático:**

- en tuberías enterradas en las que por cualquier motivo esta se eleve para acceder a la superficie del terreno.

- después de la instalación de un regulador de presión.

- antes de la reducción de la sección de una tubería.

▼ **Válvulas ventosa de efecto cinético:**

- después de un grupo de bombeo, si también se instala una válvula de retención la situación será entre el grupo de bombeo y la válvula de retención.

▼ **Válvulas ventosas de doble efecto:**

- en tramos largos de pendiente uniforme es conveniente su instalación cada 500 a 1.000 m.

- en aquellos puntos en los que la tubería se eleve por encima del nivel del suelo, la instalación se realizará próximo al final del tramo.

- ante de un contador para eliminar errores en la medida.
- en los cambios de pendiente de la tubería.

10.4. Contadores

Su misión es registrar la cantidad de agua que pasa por ellos. los más difundidos son los tipo Woltman, que llevan en su interior un molinete que gira con una velocidad que es función del agua que pasa, a estos se le puede acoplar un emisor de impulsos eléctricos.

10.5. Caudalímetros o Rotámetros

Su misión es fijar el paso de un determinado caudal por una tubería mediante la apertura o cierre de una válvula manual (llave). Consisten en un tubo transparente, con una escala grabada para fijar el caudal, y un "flotador", normalmente de acero inoxidable, que al paso del agua flota hasta alcanzar una determinada altura marcando en la escala el caudal de paso.

Estos dispositivos se deben instalar en cada uno de los tanques de abonado, para permitir la regulación manual de la cantidad de fertilizantes a incorporar al agua de riego.

Existen en el mercado válvulas de bajo consumo para situaciones en que no se dispone de energía eléctrica cercana a la válvula. Sólo consumen energía al abrir y cerrar.

10.6. Manómetros

Su misión es la medida de la presión en el punto en donde se instale. Se pueden encontrar de esfera seca y los de esfera de glicerina. En instalaciones al aire libre es más adecuado la instalación de tomas rápidas manométricas, en las que se acoplará un manómetro cada vez que se quiera realizar una medida.

▼ Su instalación se debe realizar en:

- a la entrada y salida de los filtros (permiten controlar la limpieza).
- a la salida del cabezal.
- a la entrada de cada sector de riego, después del regulador de presión.

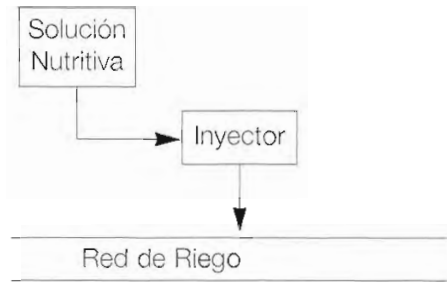
10.7. Presostatos

Su misión es la medida de presión en el punto de instalación y la emisión de una señal eléctrica cuando se alcance un valor previamente fijado. Se instalan como medida de seguridad, cuando se alcance un valor de presión en la instalación no deseado, el presostato emite una señal al ordenador de forma que este puede interrumpir en riego.

11. Sistemas de Fertilización y Automatización

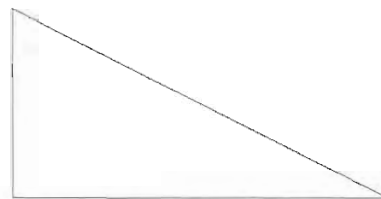
11.1. Sistemas de Fertilización

Son todos aquellos sistemas o dispositivos cuya misión es la incorporación de los fertilizantes en disolución al agua de riego. Un equipo simple de fertilización respondería al siguiente esquema:



▼ Dentro de estos sistemas se puede distinguir:

- Fertilización no proporcional-Inyección no constante.



VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS NUTRITIVOS EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA DE RIEGO

- Fertilización proporcional manual-Inyección constante.

Alteración en las condiciones de riego



VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS NUTRITIVOS EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA DE RIEGO

- Fertilización proporcional automatizada-Concentración constante.



VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS NUTRITIVOS EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA DE RIEGO

11.1.1. Fertilización no Proporcional-Inyección no Costante

Incluye todos aquellos sistemas de fertilización que incorporan los fertilizantes de forma no proporcional al agua que pasa por la red, de forma que la concentración de abono en el agua es variable a lo largo del tiempo de riego, durante un determinado período de tiempo tendrá una concentración de elementos fertilizantes distinta a otro.

Dentro de estos sistemas se encuentra:

▼ Tanques de derivación (abonadora convencional).

- Son depósitos cerrados herméticamente que se conectan paralelamente a la red de riego, y por los que se hace circular una fracción del agua de riego, que a su paso arrastra en disolución los elementos nutritivos.

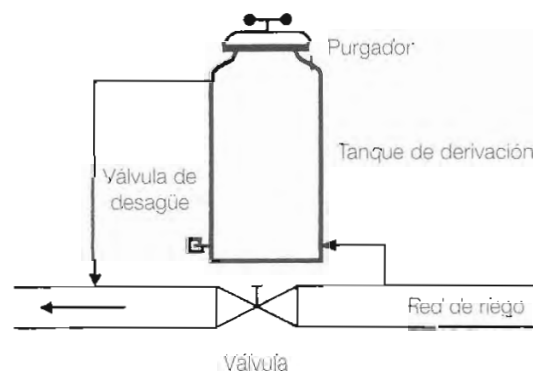
- La concentración en abono del agua de riego no es constante a lo largo de cada riego.

- Hay que reponer el abono del tanque en cada riego disminuye la automatización.

- Tienen bajo coste y no precisan energía, el abono se incorpora haciendo pasar una parte del agua de riego por el tanque.

- Materiales en los que se presentan son acero inoxidable, poliéster-fibra de vidrio.

- Las capacidades varían entre 20-350l (más común 60-150l).



11.1.2. Fertilización Proporcional Manual-Inyección Constante

Son todos aquellos sistemas de incorporación del abono al agua de riego de forma que esta tenga la misma concentración de fertilizantes a lo largo de todo el tiempo de riego si no varían las condiciones de este (variación de presión, caudal etc.), pero que requieren ser regulados de forma manual y en cada riego.

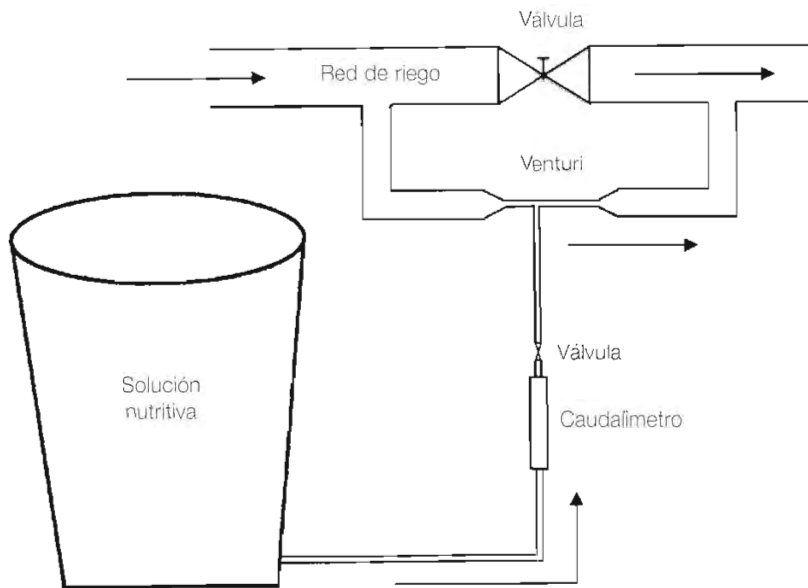
▼ Inyección con venturis

- Consiste en un tubo por el que circula agua y que está provisto de un estrechamiento, en el que por el efecto venturi se produce una depresión, que origina la succión de líquido. Esta succión se produce en el estrechamiento, donde llevan conectado una tubería introducida en su otro extremo al depósito de la solución nutritiva.

- No precisan energía, no sufren ningún tipo de desgaste por lo que son muy duraderos.

- Generan una gran pérdida de carga,

- Se coloca en paralelo a tubería de riego.
- Para evitar que se inyecte aire a la instalación, si el depósito de abono se queda sin solución, se debe instalar una válvula de boya.
- La inyección de disolución de abono que realiza el venturi es constante a lo largo del riego, de manera que si el volumen de agua de riego no varía a lo largo del riego, esta siempre llevará la misma cantidad de nutrientes, que será fijada previamente mediante la regulación de un caudalímetro.



▼ Dosificadores eléctricos e hidráulicos

Son mecanismos que toman la solución nutritiva de un depósito sin presión y lo inyectan en la red a una presión superior a la del agua de riego. Se caracterizan porque inyecta una cantidad de fertilizante constante a lo largo del riego, si no varían las condiciones, y que es fijada previamente. Dentro de estos se pueden encontrar:

A) Dosificadores eléctricos:

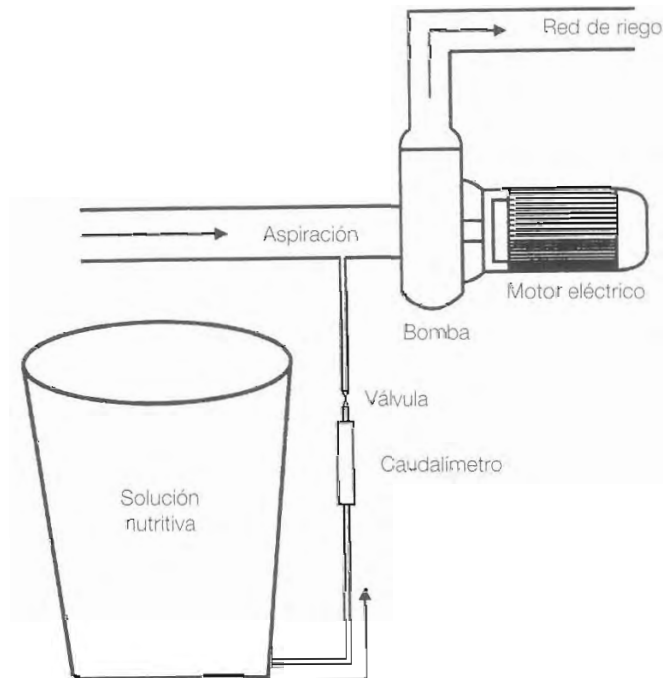
- Son accionados eléctricamente.
- Inyectan caudales variables entre 20-600l/h.
- Cada modelo tiene un rango de dosificación (ej. 50-250l/h) y por tanto se puede regular el caudal de dosificación.

B) Dosificadores hidráulicos:

- Son dispositivos accionados por la presión de la red de riego.
- Poseen una cámara que alternativamente se llena y vacía, cuando se llena se produce una succión del depósito y cuando se vacía, se inyecta a la red.
- Se puede regular el caudal, normalmente 20-300l/h.
- Necesitan una presión mínima de 2atm.
- Elevado precio.

▼ Inyección en la aspiración

Consiste en incorporar la solución fertilizante contenida en un depósito sin presión en un punto de la aspiración de la bomba. La cantidad de solución incorporada al agua de riego es controlada mediante caudalímetros.



▼ Balsa auxiliar

Consiste en preparar el agua de riego con los sales fertilizantes disueltas en una balsa auxiliar de capacidad variable según superficie de cultivo, tomando el agua de riego directamente de esta. Normalmente tiene un volumen de 80-100 m³/ha.

11.1.3. Fertilización Proporcional Automatizada- Concentración Constante

Se caracterizan por realizar una inyección de solución nutritiva concentrada proporcional al agua de riego, de forma que si se produce una variación en el caudal el sistema se corrige a sí mismo.

▼ Inyectores dosificadores porcentuales

En general se instalan en serie a la red, son accionados gracias al agua que pasa a través de ellos, que provoca el movimiento alternativo de un pistón, realizando el llenado y vaciado de una cámara que se conecta a través de una válvula con el depósito de la solución nutritiva. La inyección de esta solución siempre es proporcional al agua que pasa por la red, aunque varíen las condiciones, y sólo es necesario fijar el porcentaje del agua de riego en solución nutritiva. (si se fija la inyección al 2%, por cada 100 l de agua que pasen este dispositivo inyectará 2 l de la disolución nutritiva).

- No precisan de energía externa.
- Tienen un gran número de piezas mecánicas móviles, que sufren desgastes considerables y por tanto pierden precisión.
- Tienen un elevado precio.

▼ Emisor de impulsos proporcionales.

El sistema de emisión de impulsos proporcionales, consiste básicamente en un contador que cada vez que pasa a través de él un volumen fijado emite un impulso eléctrico, dando la orden de incorporar una determinada cantidad de solución nutritiva a un inyector. De esta manera cualquier variación en las condiciones de riego, como el aumento de caudal, no modifica la proporción de solución nutritiva en el agua. Son sistemas de instalación compleja, pero tienen la ventaja de que se pueden automatizar con gran facilidad.

▼ Medición de la conductividad.

Estos sistemas "deciden" la cantidad de solución nutritiva a incorporar en función de la conductividad final del agua de riego que se fije al inicio. Básicamente consiste en una sonda que mide la conductividad, en todos los casos acompañada de otra de control del pH; las sondas realizan medidas a intervalos de tiempo muy pequeños, estas medidas son recogidas por un ordenador que en función de su valor decide la incorporación o no de solución nutritiva, y la proporción de cada uno de los fertilizantes. Normalmente los depósitos con cada fertilizante se conectan a un mezclador (depósito), mediante electroválvulas, y una bomba de inyección eléctrica realiza la incorporación de la mezcla a la red de riego. Son sistemas totalmente automatizados de fertilización.

11.2. Automatización del Riego por Goteo

La automatización de los sistemas de riego localizado por goteo lleva consigo una serie de ventajas como son:

- Con ellos se consigue un mejor control de la frecuencia y dosis de riego.
- Ahorro de trabajo y mayor flexibilidad a la hora de programar otras operaciones en el cultivo.
- Junto a la programación de la cantidad de agua a aplicar, se puede programar otras operaciones como la fertilización, limpieza de filtros, etc.
- Puede controlar situaciones desfavorables en la instalación como averías en la instalación, bombas trabajando en vacío, etc.
- Puede suponer ahorros considerables, ya que al sectorizar la superficie en varias unidades parcelarias de riego (superficies que se riegan individualmente) permite reducir sensiblemente los diámetros de las tuberías. También permite el riego durante las horas de menor coste de la energía eléctrica.
- Permite programar el riego teniendo en cuenta la demanda de la planta en función de la temperatura del aire, humedad del suelo, evaporación, viento, etc.

La automatización de una instalación de riego se puede realizar por varios métodos:

▼ Automatización por tiempos.

▼ Automatización por volúmenes.

▼ Automatización por otros parámetros, para realizar el riego a la demanda: según la humedad del suelo (tensiómetros), la radiación solar (solarímetros), la evaporación (evaporímetros) y otros.

11.2.1. Automatización por Tiempos

Previamente a la automatización por tiempos es necesario la división de la superficie en lo que se denomina unidades parcelarias de riego (no se trata de sectores o subunidades, ya que una unidad parcelaria de riego puede incluir varios de ellos), que es aquella superficie que se riega conjuntamente y de una sola vez. La automatización por tiempos consiste en la instalación de los elementos necesarios, para fijar los tiempos de riego para cada una de las unidades parcelarias, así como la secuencia de riego de estas unidades.

El cálculo del tiempo de riego de una unidad parcelaria de riego es muy sencillo, basta con conocer el marco de instalación de los goteros y su caudal nominal:

La automatización por tiempos está basada en dos elementos:

- electroválvulas.
- programadores.

Una electroválvula es un dispositivo que abre o cierra, permitiendo el paso de agua, mediante una orden eléctrica. Generalmente las electroválvulas son del tipo normalmente cerradas, sólo se abren mientras reciban una señal eléctrica. De esta manera se evita que una interrupción de electricidad abra las válvulas.

Los programadores responden a modelos muy variados, son instrumentos que llevan un reloj que se hace coincidir con la hora real. Son los encargados de emitir o no la orden eléctrica que mantiene abiertas la electroválvula que corresponda a la hora señalada y en tiempo fijado en el programa.

11.2.2. Automatización por Volúmenes

Este método se basa en medir el agua aplicada en el riego, y cuando se alcanza el volumen fijado se interrumpe automáticamente el paso de agua, mediante el corte de la señal eléctrica que mantiene abierta la electroválvula.

La instalación se basa en tres elementos fundamentales:

- Contador de agua con un módulo de emisión de impulsos.
- Programador de riego.
- Electroválvulas.

Al igual que la programación por tiempos precisa la división de la superficie de riego en unidades parcelarias de riego individualizadas por electroválvulas. El programador de riego es el encargado de ordenar el funcionamiento de las electroválvulas, en función de los datos de volumen recibidos del contador. Normalmente también tienen salidas de ordenes para el equipo de fertilización. Así pues, se podrá programar la secuencia, momento, dotación de agua de cada una de la unidades parcelarias de riego y en determinados casos la automatización de la fertilización.

11.2.3. El Ordenador de Riego y la Programación por otros Parámetros

Los últimos avances en la automatización de riegos vienen dados por la instalación de ordenadores que gobiernen todas y cada una de las operaciones de fertiriego, según las instrucciones programadas por el agricultor. Por un lado hay que distinguir la programación en la dotación de agua y por otra la de fertilización.

Dotación de agua

▼ Por tiempos

Es idéntica a la expuesta para programadores más sencillos. Permite elegir el tiempo de riego de cada unidad parcelaria de riego, la hora de riego, fija o variable, y el intervalo entre riegos (tiempo transcurrido entre dos riegos).

▼ Por volúmenes

Es igual a la expuesta para los programadores más sencillos. También precisa la incorporación de un contador con módulo de emisor de impulsos. En el programa del ordenador se fijará el volumen de agua a suministrar a cada unidad parcelaria de riego (podrá ser variable en cada riego) y el tiempo transcurrido entre los riegos.

▼ Programación a la demanda

En general tienen en cuenta ciertas variables climáticas (temperatura, radiación..) y valores de humedad en el suelo.

- **Solarímetro:** mediante este dispositivo se mide la radiación solar (en wátios/m²), comprendida entre los 200 y 2.500 nm, recibida por el cultivo. Estas medidas pasan a un ordenador que va acumulando los valores recibidos. Conociendo la relación que existe entre la radiación recibida y las necesidades de agua, para un determinado cultivo en un momento concreto, el ordenador tomará la decisión de regar de acuerdo a la radiación acumulada que le fijemos.

- **Evaporímetro:** se basa en un dispositivo que mide la cantidad de agua evaporada, y que transmite las medidas a un ordenador que acumula los valores recibidos. Igual que en el caso anterior el ordenador calcula las necesidades de agua de un determinado cultivo en un momento concreto y toma la decisión de regar.

- **En función de la humedad del suelo:** se basan en las medidas constantes de la humedad del suelo realizadas por tensiómetros, que tienen la capacidad de transferir las medidas a un ordenador. Este acumula los datos recibidos y toma la decisión de regar cuando se alcancen los valores de tensión establecidos para cada cultivo y períodos.

Otros métodos que sólo se aplican en cultivo sin suelo, se basan en la información que da el agua de drenaje. Se puede utilizar el volumen de agua drenada, el de la conductividad de este agua o ambos.

- Cuando se realiza por volumen, es necesario establecer algún sistema que sea capaz de registrar descensos de nivel del agua de drenaje. Un sistema utilizado se basa en dos electrodos eléctricos, de forma que al cesar el paso de electricidad entre los dos, por un descenso del nivel de agua, el ordenador toma la decisión de regar.

- Para programar el riego en función del valor de la conductividad del agua de drenaje, es preciso relacionar la conductividad de la solución de riego con la de drenaje, de forma que se aumente o disminuya la cantidad de agua, para disminuir o aumentar la conductividad del drenaje.

11.2.4. Fertilización

Al margen de la programación del riego, en cantidad y frecuencia, con el ordenador de riego se automatiza totalmente la fertilización, gracias a la instalación de electrovál-

vulas y la emisión de ordenes a inyectores hidráulicos. Dependiendo del sistema elegido para la aportación de la solución nutritiva madre al agua de riego tendremos:

▼ *Fertilización automatizada no proporcional* (si varían las condiciones de riego la inyección de abono no varía, es constante):

- Inyectores de tipo venturi.
- Bombas inyectoras (eléctricas o hidráulicas).

▼ *Fertilización automatizada proporcional* (si varían las condiciones de riego, el sistema se regula por si mismo, aumentando o disminuyendo la cantidad de solución inyectada):

- Balsa auxiliar.
- Inyectores dosificadores porcentuales.
- Contadores volumétricos con emisor de impulsos.
- Medición de la conductividad eléctrica (y pH).

Ejemplos:

• Calcular el tiempo de riego necesario para aplicar 5 l/m² en una unidad parcelaria, con un goteo a marco 1 x 0,50 m y de caudal nominal de 3l/h.

- marco: 1 x 0,50 m → 2 goteros/m²
 - 2 goteros/m² x 3l/gotero y h = 6 l/m² y h

6 l/m² → 1h = 60 min.
 5 l/m² → x

$$x = (5 \times 60)/6 = 50 \text{ min.} = 0,84 \text{ h.}$$

• Calcular el tiempo de riego necesario para aplicar 4 l/planta, si en marco de plantación es de 2 x 1, en una unidad parcelaria de riego en la que el marco de los goteros es de 1 x 0,50 m y su caudal nominal de 3 l/h.

- la superficie ocupada por cada planta es: 2 x 1 m = 2 m²
 - la superficie ocupada por cada gotero es: 1 x 0,50 m = 0,5 m²
 - a cada planta le corresponden:

0,5 m² → 1 gotero
 2 m² → x goteros
 $x = 2/0,5 = 4 \text{ goteros/planta}$

- el agua recibida por una planta en una hora será:
 - 4 goteros/planta x 3 l/h y gotero = 12 l/h y planta
 - El tiempo de riego necesario para aplicar 4 l/planta será:

12 l → 1 h = 60 min.
 4 l → x

$$x = (4 \times 60)/12 = 20 \text{ min.} (0,34 \text{ h})$$

12. Diseño de una instalación de Riego Localizado

12.1. Introducción

Como ya se apuntó en el capítulo dedicado al agua de riego, el caudal disponible y su aptitud agronómica son dos aspectos claves que deben ser conocidos con anterioridad a la realización de cualquier instalación de riego localizado.

En la página siguiente se muestra de forma esquematizada el procedimiento a seguir a la hora de diseñar una instalación de riego localizado. Como se puede apreciar se trata de un proceso complejo, de ahí que el agricultor suele optar por recurrir a una empresa especializada en la instalación de riegos.

En el caso de pequeñas instalaciones (por ejemplo, invernaderos) es frecuente que el agricultor se decida a montar su propia instalación para lo cual puede ser suficiente observar la instalación de riego de una explotación vecina con las garantías que ello conlleva.

Pensando en este último caso y aunque podamos pecar de ambiciosos, puede ser interesante abordar de una forma simplificada y práctica el diseño de un pequeño invernadero de hortalizas.

12.2. Diseño Agronómico

Constituye la primera etapa en el diseño de cualquier instalación de riego. Para ello es imprescindible conocer cierta información.

12.2.1. Cultivo a Regar

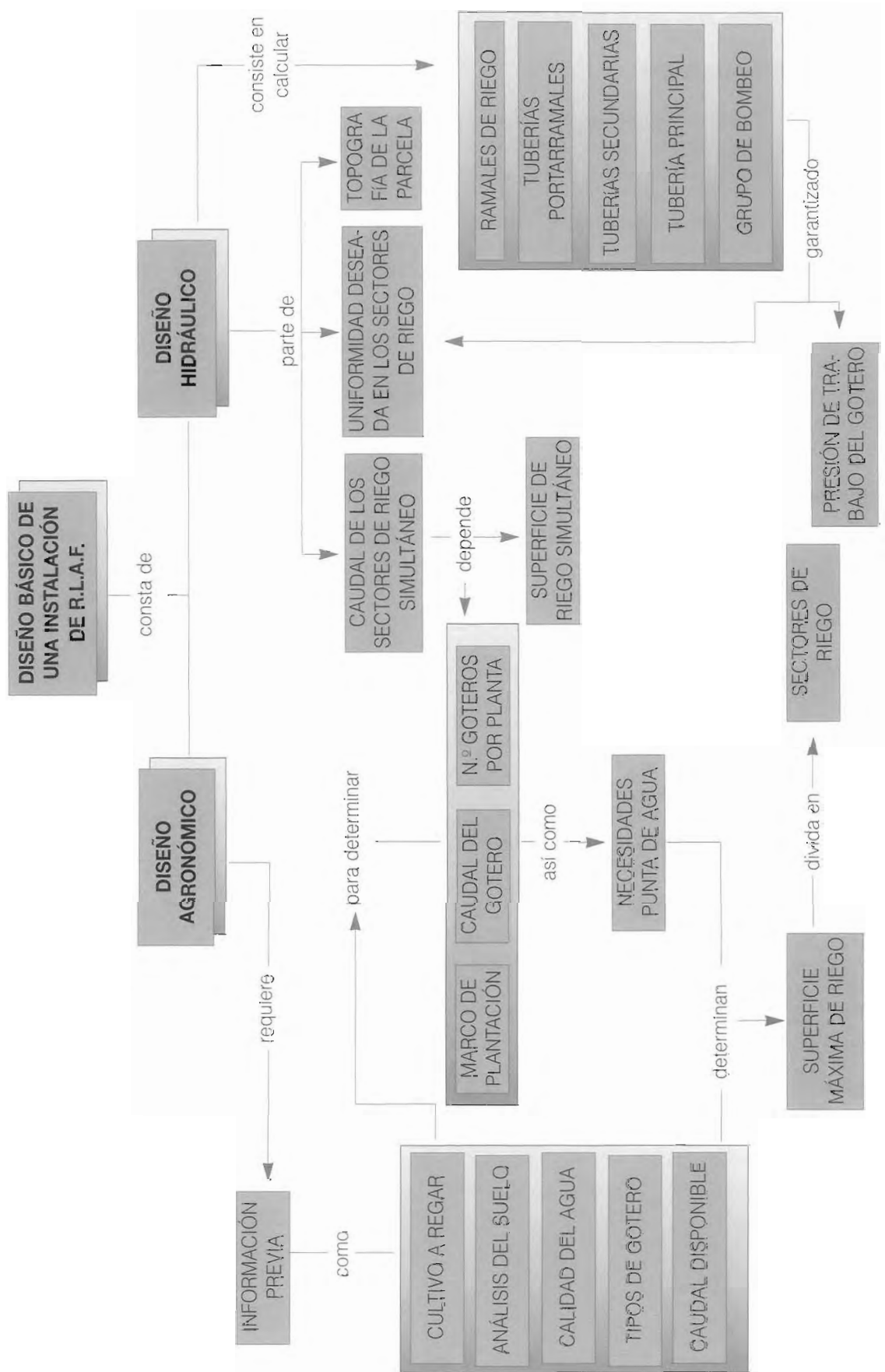
- Tomate entutorado para consumo en fresco.
- Ciclo (plantación/fin recolección) :1/2 diciembre - 1/2 julio
- Superficie invernadero: 1.600 m² (80 x 20 m.)

12.2.2. Análisis de Suelo

De las diferentes determinaciones físico-químicas que se pueden realizar en un suelo, las más importantes de cara al diseño de una instalación de riego son la textura y la conductividad eléctrica (salinidad). En nuestro caso tenemos:

- | | | |
|---|---|--------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Arena % : 70,7 • Limo % : 14,0 • Arcilla % : 15,3 | } | <i>Textura: franco-arenosa</i> |
|---|---|--------------------------------|

Conductividad eléctrica del extracto de saturación: 1,15 mmhos/cm



12.2.3. Análisis de Agua

Procedencia: pozo
Caudal: 2,5 litros/segundo
Profundidad: 10 m.

Análisis:

Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	0,733
pH	7,46
Bicarbonatos (meq/l)	6,40
Carbonatos (meq/l)	0,0
Sulfatos (meq/l)	0,21
Cloruros (meq/l)	1,40
Calcio (meq/l)	4,94
Magnesio (meq/l)	2,62
Potasio (meq/l)	0,08
Sodio (meq/l)	0,72
Boro (ppm)	0,0
Nitratos (ppm)	27,0
Indice R.A.S.	0,37

12.2.4. Emisor Seleccionado (información técnica)

Tipo: gotero de laberinto (régimen turbulento)
Conexión: interlínea
Caudal medio (q_a): 2 l/h
Presión media (h_a): 10 mica
Relación caudal-presión: $q = 0,59 \times h^{0,53}$
Longitud equivalente (pérdida de carga conexión) f_e : 0,23 m.
C.V.: 0,05 (5 %)

12.2.5. Marco de Plantación

Separación entre líneas de plantas: 1 m
Separación dentro de la línea: 0,4 m
Marco: 1 x 0,4 m.
Densidad de plantación: $1 / (1 \times 0,4) = 2,5$ plantas/m²

12.2.6. Nº de Goteros/Planta

A la vista de la separación existente entre plantas (0,4 m.), un gotero por planta puede ser suficiente.

Nº goteros/planta: $e = 1$
Separación entre goteros: 0,40 m.

El diámetro del bulbo húmedo dependerá de la textura del suelo y del caudal unitario del gotero (q_a).

$q_a = 2$ l/h.

Suelo franco: diámetro = $0,7 + 0,11 \times q_a = 0,92 \text{ m.}$
 Suelo arenoso: diámetro = $0,3 + 0,12 \times q_a = 0,54 \text{ m.}$

Para nuestro suelo franco-arenoso podemos optar por tomar la media aritmética de ambos valores ($d = (0,92 + 0,54)/2 = 0,73 \text{ m.}$; radio = $0,36 \text{ m.}$) lo que en un principio parece asegurar una banda húmeda aceptable.

Para determinar el área mojada por los goteros se puede recurrir también al empleo de tablas así como a realizar una prueba de campo que, aunque pueda resultar algo laborioso, constituye el sistema más conveniente.

Si la prueba de campo no proporciona una superficie mojada aceptable (> 50 %) tendremos 3 alternativas:

1. Elegir un gotero de mayor caudal (por ejemplo, 4 l/h - 10 mca)
2. Reducir la separación entre goteros (por ejemplo a 30 cm.)
3. Las dos anteriores

12.2.7. Caudal Necesario

- Caudal disponible (pozo): 2,5 l/sg.

Dimensiones Invernadero: 80 x 20 m.

Separación entre ramales portagoteros: 1 m.

Nº total de ramales: 79

Longitud del ramal: 19 m.

Separación entre goteros: 0,40 m.

Nº goteros(plantas)/ramal: $19 / 0,4 = 48$

Nº total de goteros: $79 \times 48 = 3.792$

Caudal total: $3.792 \text{ goteros} \times 2 \text{ l/h} = 7.584 \text{ l/h} = 2,1 \text{ l/sg.}$

Si optamos por regar de forma simultánea la totalidad del invernadero se precisa un caudal mínimo de 2,1 l/sg. Como el aforo del pozo es de 2,5 l/sg sería posible (pero no recomendable) diseñar la instalación de riego para dicha opción.

▼ En este caso la duración del riego será la siguiente:

Necesidades netas punta (julio): 5 litros/m². día

Densidad de plantación: 2,5 plantas/m²

Necesidades diarias: $N = 5 / 2,5 = 2 \text{ litros/planta}$

Caudal gotero: $q_a = 2 \text{ l/h}$

Nº goteros/planta: $e = 1$

Duración del riego: $T = (N / (q_a \times e)) = 1 \text{ hora}$

Como ya se verá más adelante, es preferible dividir el invernadero en 2 sectores y efectuar el riego de forma secuencial (primero el sector nº 1 y a continuación el sector nº 2). Las ventajas de esta segunda opción son las siguientes:

1º El caudal necesario se reduce a la mitad (1,05 l/sg), por lo que tenemos mayor margen de seguridad en el supuesto que el caudal del pozo se resienta.

2º Al ser el caudal la mitad, los componentes de la instalación de riego (grupo de bombeo, cabezal, tuberías, valvulería,...) se reducen considerablemente lo que repercute considerablemente en el presupuesto final de la misma.

Como única desventaja, el tiempo total de riego en el momento de consumo punta se duplica pasando de 1 a 2 horas, lo cual no tiene ninguna trascendencia para este caso particular.

12.3. Diseño Hidráulico

12.3.1 Uniformidad de Riego

Constituye el punto de partida del diseño hidráulico de cualquier instalación de riego localizado.

Cuanto mayor sea la uniformidad de riego deseada más cara será la instalación de riego, ya que para que exista menos variación de caudales, el régimen de presiones debe ser más uniforme, lo que implica mayores diámetros de tubería, laterales portagoteros más cortos, mayor inversión en valvulería, etc.

Aunque en la uniformidad de riego intervienen factores de diversa índole, de cara al diseño sólo vamos a considerar los constructivos y los hidráulicos.

Los factores constructivos quedan englobados en el Coeficiente de Variación de Fabricación (C.V.) que se estudió en el capítulo dedicado a los emisores de riego.

Los factores de tipo hidráulico son debidos a que los emisores de una instalación de riego están sometidos a presiones diferentes como consecuencia de las pérdidas de carga y del desnivel del terreno.

Si tenemos en cuenta ambos tipos de factores, en el diseño de un sector de riego localizado la uniformidad queda definida por el Coeficiente de Uniformidad (C.U.) :

$$C.U. = \left(1 - \frac{1,27 \times C.V.}{\sqrt{e}} \right) \times \frac{q_{ns}}{q_a}$$

donde:

C.V. = coeficiente de variación de fabricación del gotero

e = nº de goteros por planta

q_{ns} = caudal del gotero más desfavorable del sector (caudal mínimo)

q_a = caudal medio de los goteros del sector

En riego localizado se recomienda diseñar la instalación con una uniformidad mínima del 90 % (C.U. = 0,90).

Para nuestro ejemplo tendremos que la única incógnita por determinar será determinar "q_{ns}", correspondiente al caudal mínimo del gotero más desfavorable del sector de riego.

$$0,90 = \left(1 - \frac{1,27 \times 0,05}{\sqrt{1}} \right) \times \frac{q_{ns}}{2} \Rightarrow q_{ns} = 1,92 \text{ l/h}$$

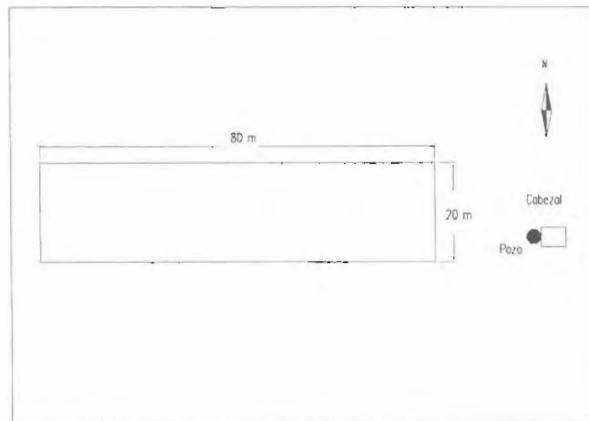
Como conocemos la ecuación caudal-presión del gotero, podemos saber la presión mínima que debemos garantizar en el gotero más desfavorable (que en el caso de una parcela llana corresponderá al más alejado) para que en cada uno de los 2 sectores del invernadero se garantice una uniformidad de riego mínima del 90 %.

$$1,92 \text{ l/h} = 0,59 \times h^{0,53} \Rightarrow h = 9,27 \text{ m.c.a.}$$

12.3.2. Sectorización

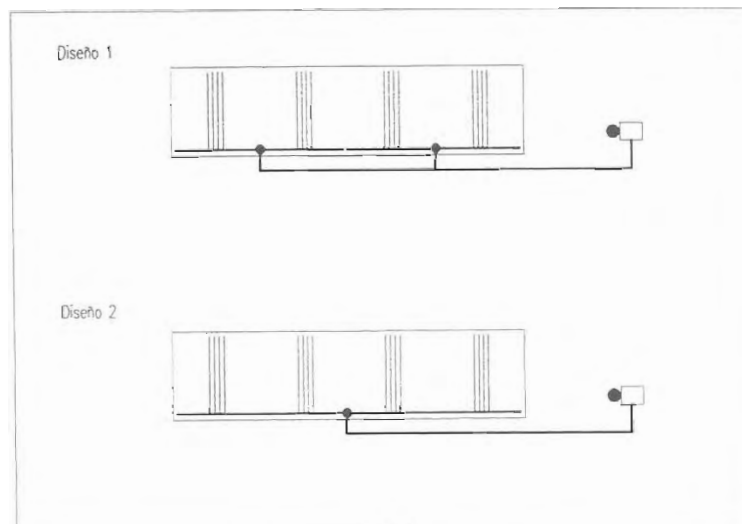
A la hora de abordar el diseño agronómico se ha puesto de manifiesto la conveniencia de dividir el invernadero en 2 sectores que se regarán de forma secuencial.

En nuestro ejemplo, la orientación del invernadero y el cultivo de tomate entutorado aconsejan que los ramales portagoteros se coloquen transversalmente (L = 19 m.) y no longitudinalmente (L = 79 m.).



En el invernadero se instalarán 79 ramales portagoteros de 19 m. de longitud agrupados en 2 sectores de riego de 40 y 39 ramales respectivamente.

A la hora de diseñar la red de distribución superficial, la ubicación de los elementos de control y regulación (válvula de bola y reductor de presión) permite varias opciones. Entre otras podemos señalar las dos siguientes:



Desde el punto de vista hidráulico, la opción 1 parece más aconsejable ya que las tuberías terciarias (portarramales) se alimentan por su punto medio. En este caso, para un diámetro dado de tubería portatoperos se precisará una tubería terciaria (portarramales) de menor sección ya que el caudal se divide inmediatamente después de la arqueta de control y regulación.

Como contrapartida, la opción 2 presenta la ventaja de que el agricultor puede centralizar los elementos de control y regulación en una única arqueta. Por otro lado, la red de distribución se simplifica ya que tan sólo existe una tubería principal, con el consiguiente ahorro de zanja de excavación.

A simple vista se puede apreciar que además de las opciones comentadas existen otras muchas, cada una con sus ventajas e inconvenientes que merecen ser analizadas con el suficiente detenimiento.

El criterio económico es fundamental de ahí que pueda ser interesante proceder al diseño de varias opciones, para posteriormente proceder al cálculo de las mediciones y presupuesto final de las obras e instalaciones a ejecutar.

A continuación vamos a estudiar el DISEÑO 1, analizando las repercusiones que supone dimensionar el riego localizado del invernadero en los 2 casos siguientes:

- ▼ Opción 1: Riego simultáneo de los 2 sectores de riego
- ▼ Opción 2: Riego secuencial

12.4. Cálculos Hidráulicos

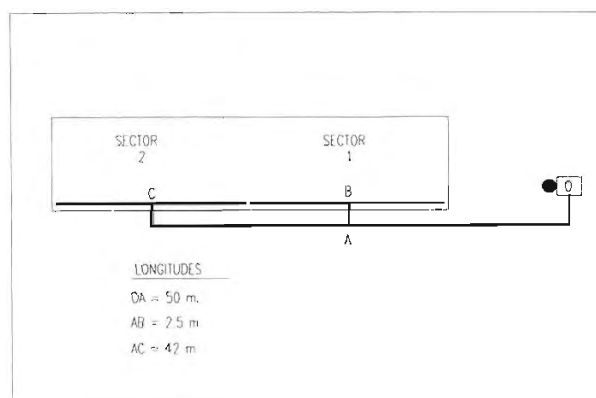
A la hora de calcular las pérdidas de carga se pueden utilizar en la actualidad las siguientes alternativas:

1. Tablas
2. Ábacos
3. Formulas hidráulicas
4. Programas informático (PC)

En nuestro caso vamos a realizar el Diseño 1 del invernadero mediante el método de Tablas.

Este sistema es muy sencillo, de ahí que esté especialmente indicado para aquellos alumnos menos familiarizado con el manejo de calculadoras científicas. Por otro lado, los resultados obtenidos son igualmente satisfactorios.

En la figura siguiente se indican las longitudes de las diferentes tuberías que conforman la red de distribución.



En primer lugar empezaremos por dimensionar los ramales portagoteros y las tuberías terciarias para los 2 sectores de riego del invernadero. Para un tipo de gotero convencional (como es nuestro caso) podemos admitir una tolerancia de presiones del 10 % sobre la presión media de trabajo del gotero.

Presión media (h_a) = 10 mca
 Tolerancia de presiones : 10 % (10 mca) = 1 mca

Esto quiere decir que la diferencia existente entre las presiones de trabajo del gotero más favorable (gotero más próximo a la llave de control) y el más desfavorable (el último del ramal más alejado) no puede sobrepasar 1 mca.

Como conocemos la ecuación del gotero, esta tolerancia de presiones se traducirá en la siguiente tolerancia de caudales dentro del sector:

Gotero de caudal medio:	h = 10 mca	\Rightarrow	q = $0,59 \times 10^{0,53} =$	2 l/h
Gotero mas favorable:	h = 10,5 mca	\Rightarrow	q = 2,05 l/h	(+ 2,5 %)
Gotero mas desfavorable:	h = 9,5 mca	\Rightarrow	q = 1,95 l/h	(- 2,5 %)

12.4.1. Ramales Portagoteros (laterales)

Longitud: 19 m.
 Material: Polietileno baja densidad (PEBD)
 Diámetro exterior: 12,5 mm
 Diámetro interior: 10,3 mm
 Separación entre goteros: 0,40 m.
 Pérdida de carga conexión gotero: 0,23 m.

Nº goteros/ramal = $19 / 0,40 = 48$ goteros
 Caudal ramal = $48 \text{ goteros} \times 2 \text{ l/h} = 96 \text{ l/h}$

Para calcular la pérdida de carga que se produce en esta tubería emplearemos la Tabla I (ver página) seleccionando los caudales más próximos por defecto y por exceso a 96 l/h:

Diámetro exterior	Caudal (l/h)	Pérdida carga (por 100 m.)
1/4" o 12,5 mm	-	-
	90	1,80
	108	2,54
	-	-

Si interpolamos obtenemos una pérdida de carga "J" \approx 2,05 m.c.a. por cada 100 m. lineales de tubería.

Al circular el agua por el ramal la conexión del gotero provoca cierta pérdida de carga que viene reflejada a través de su denominada longitud equivalente, que en nuestro caso es de 0,23 m./gotero. Según esto, la longitud a considerar a la hora de calcular la pérdida de carga en el ramal portagoteros será la siguiente:

$$L = 19 \text{ m.} + (48 \text{ goteros} \times 0,23 \text{ m/gotero}) = 30,04 \text{ m.}$$

$$PC_{\text{ramal}} = J \times L = 2,05/100 \times 30,04 = 0,62 \text{ m.c.a.}$$

Esta pérdida de carga es la producida en una tubería de PEBD de 10,3 mm de diámetro interior cuando circula por ella un caudal de 96 l/h. Sin embargo cada 0,40 m el caudal disminuye aproximadamente en 2 l/h (caudal medio del gotero) por lo que el resultado anterior debe ser corregido según el coeficiente reductor F de Christiansen que depende del número de salidas y del régimen hidráulico.

$$hf_{\text{ramal}} = J \times L \times F$$

▼ Coeficiente "F" de Christiansen (para $\beta = 1,80$; $l_0 = S_e/2$)

Nº Salidas	F	Nº Salidas	F	Nº Salidas	F
1	1,000	11	0,375	22	0,366
2	0,525	12	0,374	24	0,365
3	0,448	13	0,372	26	0,364
4	0,419	14	0,371	28	0,364
5	0,403	15	0,370	30	0,363
6	0,394	16	0,369	35	0,362
7	0,388	17	0,368	40	0,362
8	0,383	18	0,368	45	0,361
9	0,380	19	0,367	100	0,359
10	0,378	20	0,367	200	0,358

Según la tabla anterior para 48 salidas (goteros) F se aproxima a 0,361 , por lo que la pérdida total final que se producirá en el ramal portagoteros de 19 m. de longitud será:

$$PC_{\text{ramal}} = 0,361 \times 0,62 = 0,22 \text{ m.c.a.}$$

12.4.2. Tuberías Terciarias (portarramales)

Para dimensionar esta tubería tomaremos el sector nº1 (el más próximo al cabezal) por ser el de mayor caudal:

Nº ramales: 40
 Caudal = 40 ramales x 96 l/h = 3.840 l/h
 Longitud: 39 m.

Como aparece reflejado en (pág. 98), para conseguir una mayor uniformidad de riego alimentaremos la tubería terciaria por su punto medio, por lo que a efectos de cálculo los valores a tomar serán la mitad de los anteriores:

Nº ramales: 20
 Caudal = 20 ramales x 96 l/h = 1.920 l/h
 Longitud: 19,5 m.

Como $PC_{ramal} = 0,22$ m.c.a. , la tubería terciaria se dimensionará de forma que la pérdida de carga que origine no supere el valor:

$$PC_{terciaria} \leq (1 - 0,22) = 0,78 \text{ m.c.a.}$$

▼ Probaremos con una tubería PEBD 32/28 - 4 atm.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{caudal (m}^3\text{/sg)}}{\text{sección (m}^2\text{)}} = \frac{1,920/3.600.000}{3,14 \times 0,028^2/4} = 0,87 \text{ m/sg}$$

Volviendo a consultar la Tabla I (tuberías de PE) obtendremos la siguiente pérdida de carga para 100 m. lineales:

Diámetro exterior	Caudal (l/h)	Pérdida carga (por 100 m.)
1" ó 32 mm	-	-
	1.800	2,92
	2.160	4,00
	-	-

Si interpolamos, para $q = 1.920$ l/h $\Rightarrow J \approx 3,28$ m.c.a./100 m.

Como el valor F de Christiansen para 20 salidas es $F = 0,367$, la pérdida de carga de la tubería terciaria será :

$$PC_{terciaria} = J \times L \times F = 3,28 / 100 \times 19,5 \times 0,367 = 0,23 \text{ m.c.a.}$$

Como: $PC_{terciaria} < 0,78$ m.c.a. , la tubería PEBD de 1" (32 mm) es válida.

Si regulamos la presión a la entrada del sector a 10,25 m.c.a. , la presión de trabajo del gotero más desfavorable será aproximadamente:

$$h_{ns} = 10,25 - (PC_{terciaria} + PC_{ramal}) = 10,25 - (0,23 + 0,22) = 9,80 \text{ m.c.a.}$$

El caudal del gotero más desfavorable será entonces:

$$q_{ris} = 0,59 \times 9,80^{0,53} = 1,98 \text{ l/h}$$

por lo que la uniformidad de riego del sector estudiado será la siguiente:

$$C.U. = \left(1 - \frac{1,27 \times 0,05}{\sqrt{1}} \times \frac{q_{ns}}{2} \right) = \left(1 - \frac{1,27 \times 0,05}{1} \right) \times \frac{1,98}{2} = 0,927 \quad (92,7 \%)$$

12.4.3. Tuberías Secundarias

Para seleccionar el diámetro de las tuberías secundarias y primarias seguiremos el criterio de que la velocidad del agua se aproxime a 1 m/sg, no siendo aconsejable exceder el valor de 1.5 m/sg.

A la hora de estudiar la red primaria y secundaria es conveniente matizar que el diámetro elegido no afectará para nada a la uniformidad de riego final de los diferentes sectores. Sin embargo, las pérdidas de carga que se produzcan en estas tuberías van a incidir directamente en las necesidades de impulsión (especialmente en conducciones de gran longitud), de ahí que haya que estudiar esta incidencia si optamos por reducir el diámetro de las tuberías.

Para el cálculo de las tuberías secundarias y primarias emplearemos en este caso tuberías de PVC - 6 atm. (Ver Tabla II / pág. 108)

▼ Sector 1 (40 ramales):

Caudal: 40 x 96 l/h = 3.840 l/h

Longitud: 2,5 m.

Tubería: PVC 40/36,4 - 6 atm.

$$\text{Velocidad (m/sg)} = \frac{3.840/3.600.000}{3,14 \times 0,0364^2/4} = 1,03$$

Diámetro exterior	Caudal (l/h)	Pérdida carga (por 100 m.)
-	-	-
1 1/4" ó 40 mm	6.600	2.60
-	5.400	5.62
-	-	-

Para $q = 3.840 \text{ l/h} \Rightarrow J \approx 3 \text{ mca}/100 \text{ m.}$

$PC_{\text{secundaria}} = J \times L = 3/100 \times 2,5 = 0,08 \text{ mca}$

▼ Sector 2 (39 ramales):

Caudal: 39 x 96 l/h = 3.744 l/h

Longitud: 42 m.

Tubería: PVC 40/36,4 - 6 atm.

$$\text{Velocidad (m/sg)} = \frac{3.744/3.600.000}{3,14 \times 1,0364^2/4} = 1$$

Interpolando en la misma tabla de la página anterior:

Para $q = 3.744 \text{ l/h} \Rightarrow J \approx 2,84 \text{ mca}/100 \text{ m}$.

$PC_{\text{secundaria}} = J \times L = 2,84/100 \times 42 \text{ m} = 1,19 \text{ mca}$

12.4.4. Tubería Principal

▼ Opción 1: Riego simultáneo de los sectores 1 y 2

Tubería: PVC 50/46,4 - 6 atm.
 Caudal total: 7.584 l/h (2,1 l/sg.)
 Caudal disponible (pozo): 2,5 l/sg.
 Longitud: 50 m.
 Velocidad: 1,25 m/sg.

Diámetro exterior	Caudal (l/h)	Pérdida carga (por 100 m.)
1 1/2" ó 50 mm	-	-
	7.200	3,06
	9.000	4,84
	-	-

Si interpolamos en esta tabla, para $q = 7.584 \text{ l/h} \Rightarrow J \approx 3,44 \text{ mca}/100 \text{ m}$.

$PC_{\text{primaria}} = J \times L = 3,44/100 \times 50 \text{ m} = 1,72 \text{ mca}$

▼ Opción 2: Riego secuencial de los sectores 1 y 2

En este caso los cálculos se efectuarán con el caudal del sector nº 2 , ya que con un caudal prácticamente similar, su tubería secundaria es la que genera mayores pérdidas de carga al ser ésta de mayor longitud (42 m. frente a 2,5 m. del sector nº1).

Tubería: PVC 40/36,4 - 6 atm.
 Caudal total: 3.744 l/h (1,04 l/sg.)
 Caudal disponible (pozo): 2,5 l/sg.
 Longitud: 50 m.
 Velocidad: 1 m/sg.

Diámetro exterior	Caudal (l/h)	Pérdida carga (por 100 m.)
1 1/4" ó 40 mm	-	-
	3.600	2,60
	5.400	5,62
	-	-

Interpolando, para $q = 3.744 \text{ l/h} \Rightarrow J \approx 2,84 \text{ mca}/100 \text{ m}$

$$PC_{\text{principal}} = J \times L = 2,84/100 \times 50 \text{ m.} = 1,42 \text{ mca}$$

• Cabría también la opción de realizar riego secuencial por subsectores, lo que supondría aumentar el tiempo de riego hasta un total de 4 horas/día en el periodo de máximas necesidades pero también un ahorro económico en la instalación que habría que evaluar.

12.4.5. Cálculo de la Potencia de Bombeo

▼ Opción 1: Riego simultáneo de los sectores 1 y 2

a) Desnivel:

Cota nivel freático: 0 m.
Cota invernadero: 15 m.

▼ Densivel total: 15 m.

b) Pérdidas de carga:

Tubería principal: 1,72 m.c.a.
Tubería secundaria: 1,29 m.c.a.
Cabezal-singularidades: 10,00 m.c.a.
(estimación)

▼ PC: 13,01 m.c.a.

c) Presión de trabajo del gotero (gotero 1/ ramal 1):

▼ $h_{\text{gotero}} = 10,25 \text{ m.c.a.}$

Altura manométrica:

$$H = \text{Densivel} + PC + h_{\text{gotero}} = 38,26 \text{ m.c.a.}$$

Caudal:

$Q = 7.584 \text{ l/h} = 2,1 \text{ l/sg}$
Margen de seguridad : 10 %

$$\text{Caudal} = 2,1 \text{ l/sg} + 10 \% (2,1) = 2,31 \text{ l/sg.}$$

Potencia de bombeo:

La Potencia necesaria para elevar un cierto caudal "Q" a una determinada altura manométrica "H" se obtiene mediante la siguiente fórmula donde "R" es el rendimiento mecánico del grupo motobomba y que suele ser del orden de 0,7.

$$\text{Potencia (C.V.)} = \frac{Q \text{ (l/sg.)} \times H}{75 \times R} = \frac{2,31 \times 38,26}{75 \times 0,70} = 1,68$$

Elegiremos un grupo sumergible de 2 C.V. capaz de elevar un caudal de 9 m³/h (2,5 l/sg.) a una altura manométrica de 38 m.c.a. (se han omitido la marca y el modelo comercial)

▼ Opción 2: Riego secuencial de los sectores 1 y 2.

a) Desnivel:

Cota nivel freático: 0 m.
Cota invernadero: 15 m.

▼ Densivel total: 15 m.

b) Pérdidas de carga:

Tubería principal: 1,42 m.
Tubería secundaria: 1,29 m.
Cabezal-singularidades: 10,00 m.

▼ PC: 12,71 m.c.a.

c) Presión de trabajo del gotero (gotero 1/ramal 1):

▼ $h_{\text{gotero}} = 10,25$ m.c.a.

Altura manométrica:

$$H = \text{Densivel} + \text{PC} + h_{\text{gotero}} = 37,96 \text{ m.c.a.}$$

Caudal:

$Q = 3.744 \text{ l/h} = 1,04 \text{ l/sg.}$
Margen de seguridad: 10 %

$$\text{Caudal} = 1,04 + 10 \% (1,04) = 1,15 \text{ l/sg.}$$

Potencia de bombeo:

$$\text{Potencia (C.V.)} = \frac{1,15 \times 37,96}{75 \times 0,70} = 0,83$$

Elegiremos un grupo sumergible de 1 C.V. capaz de elevar un caudal de 4,2 m³/h (1,17 l/sg.) a una altura manométrica de 39 m. (se han omitido la marca y el modelo comercial)

Tabla I. Pérdidas de carga.- TUBERÍA PE (4 atm.)

Diámetro exterior (interior)	Caudal (l/h)	P. Carga (por 100 m.l.)	Velocidad agua (m/sg.)
1/4" ó 12,5 mm(10,3 mm)	36	0,45	0,12
	54	0,90	0,18
	72	1,30	0,24
	90	80	0,30
	108	2,54	0,36
	144	4,31	0,48
	180	6,60	0,60
	216	9,66	0,72
	252	12,85	0,84
	288	17,00	0,96
	324	21,42	1,08
	360	25,71	1,20
3/8" ó 16 mm (13,2 mm)	36	0,17	0,07
	54	0,36	0,11
	72	0,54	0,15
	90	0,58	0,18
	108	0,70	0,22
	144	1,36	0,29
	180	2,00	0,37
	216	2,86	0,44
	252	3,80	0,51
	288	5,00	0,59
	324	6,40	0,66
	360	7,75	0,73
540	17,00	1,10	
720	30,00	1,46	
1/2" ó 20 mm (17,4 mm)	90	0,15	0,11
	108	0,21	0,13
	144	0,37	0,17
	180	0,56	0,21
	216	0,80	0,25
	252	1,08	0,29
	288	1,42	0,34
	324	1,80	0,38
	360	2,15	0,42
	540	5,71	0,63
	720	8,00	0,84
	900	12,69	1,05
1.080	17,50	1,26	
1.440	30,00	1,68	
3/4" ó 25 mm (21 mm)	540	1,15	0,43
	720	1,95	0,58
	900	3,00	0,72
	1.080	4,50	0,87
	1.440	7,75	1,16
	1.800	2,30	1,44
	2.160	17,00	1,73
	2.520	23,20	2,02
	2.880	30,00	2,31

Continúa

Tabla I. Pérdidas de carga.- TUBERÍA PE (4 atm.)

Continuación

Diámetro exterior (interior)	Caudal (l/h)	P. Carga (por 100 m.l.)	Velocidad agua (m/sg.)
1" ó 32 mm (28 mm)	1.080	1,15	0,49
	1.440	1,90	0,65
	1.800	2,92	0,81
	2.160	4,00	0,98
	2.520	5,50	1,14
	2.880	7,00	1,30
	3.240	8,75	1,46
	3.600	11,15	1,63
	5.400	23,70	2,44
1 1/4" ó 40 mm (35 mm)	1.800	0,97	0,52
	2.160	1,38	0,62
	2.520	1,94	0,73
	2.880	2,46	0,83
	3.240	3,00	0,94
	3.600	3,77	1,04
	5.400	8,50	1,56
	7.200	15,00	2,08
	10.800	30,00	3,12
1 1/2" ó 50 mm (43,6 mm)	2.880	0,80	0,54
	3.240	1,00	0,60
	3.600	1,23	0,67
	5.400	2,77	1,01
	7.200	4,86	1,34
	10.800	11,54	2,01
	14.400	20,00	2,68
2" ó 63 mm (55 mm)	5.400	0,80	0,63
	7.200	1,42	0,84
	10.800	3,33	1,26
	14.400	5,93	1,69
	18.000	9,40	2,11
	21.600	13,84	2,53

Tabla II. Pérdidas de carga.- TUBERÍA PVC (6 atm.)

Diámetro exterior tubería	Caudal (l/h)	P. Carga (por 100 m.l.)	Velocidad agua (m/sg.)
1" ó 32 mm (*) (28,4 mm) (*) sólo en 10 atm.	720	0,36	0,32
	1.800	2,22	0,79
	3.600	8,90	1,58
	5.400	19,93	2,37

Continúa

Tabla II. Pérdidas de carga.- TUBERÍA PVC (6 atm.)

Continuación

Diámetro exterior tubería	Caudal (l/h)	P. Carga (por 100 m.l.)	Velocidad agua (m/sg.)
1 1/4" ó 40 mm (36,4 mm)	720	0,10	0,19
	1.800	0,62	0,48
	3.600	2,60	0,96
	5.400	5,62	1,44
	7.200	10,00	1,92
	9.000	15,61	2,40
	10.800	22,48	2,89
	1 1/2" ó 50 mm (46,4 mm)	1.800	0,19
3.600		0,76	0,59
5.400		1,79	0,89
7.200		3,06	1,18
9.000		4,84	1,48
10.800		6,56	1,78
14.400		12,32	2,37
2" ó 63 mm (59,2 mm)	1.800	0,05	0,18
	3.600	0,21	0,36
	5.400	0,47	0,55
	7.200	0,86	0,73
	9.000	1,35	0,91
	10.800	1,93	1,09
	14.400	3,42	1,45
	18.000	5,33	1,82
	21.600	7,72	2,18
	25.200	10,56	2,52
2 1/2 " ó 75 mm(70,6 mm)	3.600	0,10	0,26
	5.400	0,23	0,38
	7.200	0,39	0,51
	9.000	0,61	0,64
	10.800	0,88	0,77
	14.400	1,53	1,02
	18.000	2,44	1,28
	21.600	3,53	1,53
	25.200		1,79
3" ó 90 mm (84,6 mm)	3.600	0,03	0,18
	5.400	0,07	0,27
	7.200	0,13	0,36
	9.000	0,20	0,45
	10.800	0,28	0,53
	14.400	0,51	0,71
	18.000	0,81	0,89
	21.600	1,17	1,07
	25.200	1,59	1,25
	36.000	3,17	1,78
	45.000	5,06	2,22
	54.000	7,32	2,67

Continúa

Tabla II. Pérdidas de carga.- TUBERÍA PVC (6 atm.)

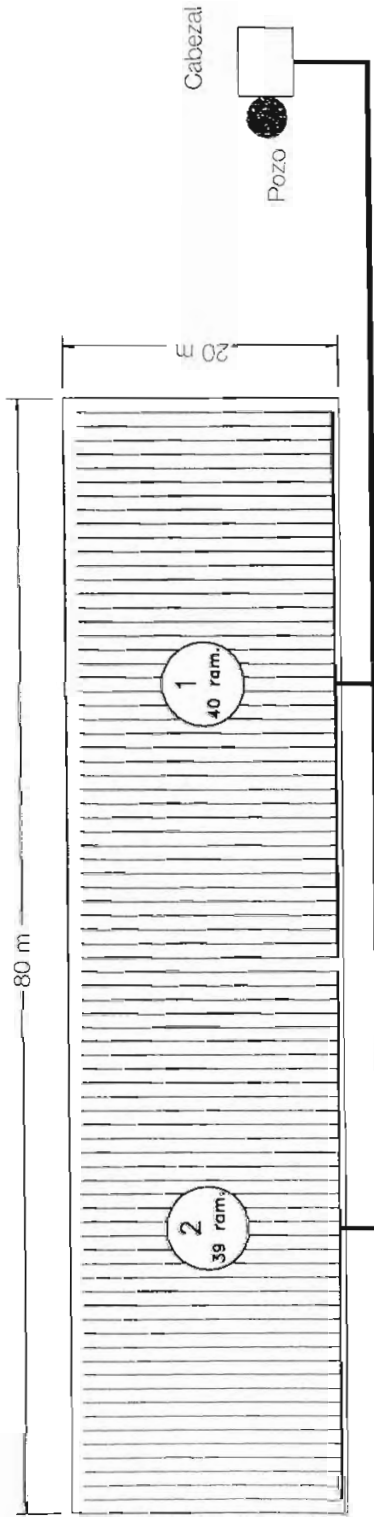
Continuación

Diámetro exterior tubería	Caudal (l/h)	P. Carga (por 100 m.l.)	Velocidad agua (m/sg.)
4" ó 110 mm (103,6 mm)	5.400	0,02	0,18
	7.200	0,05	0,24
	9.000	0,07	0,30
	10.800	0,10	0,36
	14.400	0,17	0,47
	18.000	0,27	0,59
	21.600	0,40	0,71
	25.200	0,55	0,83
	36.000	1,14	1,19
	45,00	1,74	1,48
	54.000	2,51	1,78
72.000	4,50	2,37	
5" ó 125 mm (117,6 mm)	7.200	0,02	0,18
	9.000	0,04	0,23
	10.800	0,05	0,28
	14.400	0,09	0,37
	18.000	0,13	0,46
	21.600	0,20	0,55
	25.200	0,27	0,64
	36.000	0,46	0,92
	45.000	0,87	1,115
	54.000	1,27	1,38
	72.000	2,24	1,84
90.000	3,54	2,30	
6" ó 140 mm (131,8 mm)	9.000	0,02	0,18
	10.800	0,03	0,22
	14.400	0,05	0,29
	18.000	0,07	0,37
	21.600	0,10	0,44
	25.200	0,14	0,51
	36.000	0,23	0,73
	45.000	0,46	0,92
	54.000	0,68	1,10
	72.000	1,19	1,47
	90.000	1,85	1,83
144.000	4,76	2,93	
7" ó 160 mm (150,6 mm)	14.400	0,03	0,22
	18.000	0,04	0,28
	21.600	0,06	0,34
	25.200	0,08	0,39
	36.000	0,16	0,56
	45.000	0,26	0,70
	54.000	0,37	0,84
	72.000	0,66	1,12
	90.000	1,03	1,40
	144.000	2,65	2,25
	216.000	5,93	3,37

INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO – INVERNADERO 1.600 m²

Opción 1: riego simultáneo de los sectores 1 y 2

Cultivo: tomate entutorado



TUBERÍAS DE RIEGO

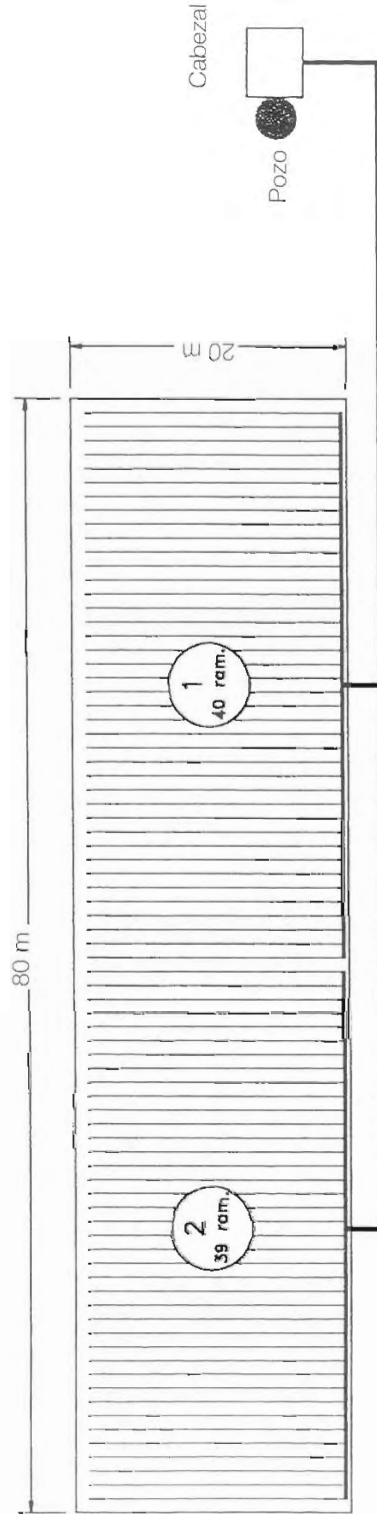
- PVC 50/46,4 - 6 Atm.
- PVC 40/36,4 - 6 Atm.
- PEBD 32/28 - 4 Atm.
- PEBD 12,5/10,3 mm.

BOMBEO: Grupo sumergible de 2 C.V.

INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO – INVERNADERO 1.600 m²

Opción 2: riego secuencial de los sectores 1 y 2

Cultivo: tomate entutorado



TUBERÍAS DE RIEGO

- _____ PVC 40/35,4 - 6 Atm.
- _____ PEBD 32/28 - 4 Atm.
- _____ PEBD 12,5/10,3 mm.

BOMBEO: Grupo sumergible de 1 C.V.

13. Fertirrigación

13.1. Introducción

Las necesidades generales de las plantas y los distintos aportes que se pueden realizar para satisfacerlas se reflejan en el cuadro nº1, de ellas, en este capítulo sólo nos vamos a ocupar del aporte de elementos nutritivos (sales fertilizantes), y más concretamente del manejo y cálculos necesarios para su aplicación a la planta mediante el sistema de riego por goteo. Otros aspectos de gran importancia, como son las necesidades de cada elemento requerido por los distintos cultivos o distintas especies se contemplan en el módulo IV.

La aparición de los riegos "localizados", han difundido la técnica de fertirrigación, que básicamente consiste en la aplicación de los abonos disueltos en el agua de riego. Las ventajas e inconvenientes de esta técnica son:

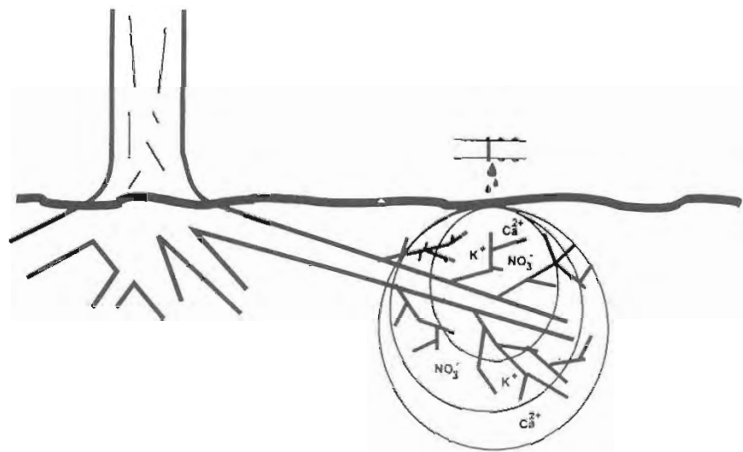
Ventajas:

- Ahorro de fertilizantes, ya que localiza el abono, existiendo menores pérdidas por lavado.
- Mejor asimilación de los elementos por la planta, debido al elevado grado de humedad en el que se mantiene el suelo.
- Mejor distribución de los fertilizantes en el suelo, no sólo a nivel superficial, sino también en profundidad.
- Adecuación del abonado a las necesidades de las plantas en cada periodo. Se puede establecer el mejor equilibrio para cada momento.
- Rapidez de actuación ante problemas de deficiencia de nutrientes.
- Economía en la distribución de los abonos.
- Posibilidad de utilizar las instalaciones para aplicar otros productos.

Inconvenientes:

Los inconvenientes más importantes son debidos a las obturaciones que se producen por precipitados (algunas sustancias reaccionan entre ellas formando compuestos insolubles), se deben al mal uso de fertilizantes, o a un mal manejo y cuidados de la instalación.

NECESIDADES DE LA PLANTA	COMPLEMENTO A LAS NECESIDADES
<p>1. Factores energéticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▼ Luz ▼ Temperatura (calor) <p>2. Factores químicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▼ Anhídrido carbónico (CO₂) ▼ Oxígeno (O₂) ▼ Agua (H₂O) ▼ Elementos nutritivos <ul style="list-style-type: none"> ➤ Macroelementos principales: <ul style="list-style-type: none"> • Nitrógeno (N) • Fósforo (P) • Potasio (K) ➤ Macroelementos secundarios: <ul style="list-style-type: none"> • Azufre (S) • Calcio (Ca) • Magnesio (Mg) ➤ Microelementos: <ul style="list-style-type: none"> • Hierro (Fe) • Manganeso (Mn) • Cinc (Zn) • Cobre (Cu) • Boro (B) • Molibdeno (Mo) • Cloro (Cl) 	<p>Aportes luminosos (iluminación) Aporte de calor (calefacción)</p> <p>Aporte con gas CO₂</p> <p>Riegos Fertilización</p>



▼ De forma general el aporte de elementos nutritivos a los cultivos debe tener una elevada eficiencia, que permita conseguir los siguientes objetivos:

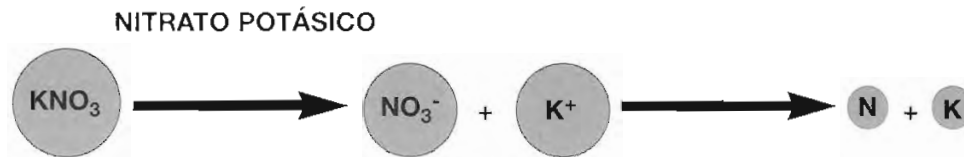
- producciones rentables, que aumenten los beneficios de las explotaciones.
- evitar la contaminación que provenga de abonados excesivos o mal aplicados.

13.2. Sales Fertilizantes

El suministro de los elementos nutritivos indispensables para un desarrollo óptimo de las plantas, se realiza a través de la aportación de sales fertilizante (abonos).

Las sales fertilizantes comerciales son formulados químicos que incluyen en su composición uno o varios elementos nutritivos requeridos por las plantas.

Ejemplo:



De esta manera utilizando una determinada sal fertilizante se aportan unos elementos nutritivos concretos y en las proporciones en las que se presenta en su composición. Por tanto, de forma general, lo más importante será:

- saber que elementos nutritivos aporta el abono.
- cual es su eficiencia, en cuanto a la retención por las partículas del suelo, si es absorbido directamente por la planta o debe sufrir algún tipo de transformación.
- que cantidad (riqueza) de un determinado elemento nutritivo aporta.

Otras características de las sales fertilizantes de gran importancia para su uso en fertirrigación son:

- Solubilidad (gr/l)
- Salinidad
- Reacción, pH.

13.2.1. Composición y Riqueza de los Abonos

La riqueza de las sales fertilizantes vienen dadas por:

NITRÓGENO	N	HIERRO	Fe
FÓSFORO	P ₂ O ₅	MANGANESO	Mn
POTASIO	K ₂ O	CINC	Zn
CALCIO	CaO/Ca	BORO	B
MAGNESIO	MgO/Mg	MOLIBDENO	Mo
AZUFRE	S	COBRE	Cu

13.2.2. Tipos y Características de las Sales Fertilizantes más Comunes en Fertirriego

Los principales abonos utilizados en fertirrigación son:

- Nitrato de amonio NH₄NO₃
- Nitrato potásico KNO₃
- Nitrato de calcio Ca(NO₃)₂

- Nitrato de magnesio $Mg(NO_3)_2$
- Sulfato de potasio K_2SO_4
- Sulfato de amonio $(NH_4)_2SO_4$
- Fosfato monoamónico $NH_4H_2PO_4$
- Fosfato monopotásico KH_2PO_4
- Sulfato de magnesio $MgSO_4$
- Ácido fosfórico H_3PO_4

Las características más destacables de cada una de las sales son:

▼ Nitrato de amonio NH_4NO_3

Posee una riqueza de un 33,5% de N. Su contenido en nitrógeno se reparte en 50% de forma nítrica y un 50% en forma amoniacal. Es uno de los productos de mayor solubilidad 1.920g/l a 20°C. En disolución se presentan:



- Sus características en cuanto a salinidad y pH son:

Concentración (g/l)	C.E. mmmhos/cm	pH
0,5	0,78	5,59
1	0,94	5,56
2	2,78	5,38

▼ Nitrato potásico KNO_3

Tiene una riqueza de un 13% de N y 46% de K_2O , posee una solubilidad de 316gr/l. En disolución se presenta:



- Sus características en cuanto a salinidad y pH son:

Concentración (g/l)	C.E. mmmhos/cm	pH
0,5	0,64	6,56
1	1,27	7,02
2	2,44	7,53

▼ Nitrato de calcio $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$

Su riqueza es de 15,5 de N y un 17% de Ca, la solubilidad es de 1.220 gr/l a 20 °C. En disolución se presenta:



- Sus características en cuanto a salinidad y pH son:

Concentración (g/l)	C.E. mmmhos/cm	pH
0,5	0,594	5,91
1	1,11	5,87
2	2,02	5,8

▼ Nitrato de magnesio $Mg(NO_3)_2$

Posee una riqueza de un 11% de N y un 9% de Mg, su solubilidad es de 279gr/l. En disolución se presenta:



- Sus características en cuanto a salinidad y pH:

Concentración (g/l)	C.E. mmmhos/cm	pH
0,5	0,462	5,52
1	0,86	5,53
2	1,61	5,37

▼ Sulfato de potasio K_2SO_4

Contiene un 50% de K_2O y un 17% de S, su solubilidad es de 110gr/l. En disolución se presenta:



- Sus características en cuanto a salinidad y pH:

Concentración (g/l)	C.E. mmmhos/cm	pH
0,5	0,765	6,6
1	1,415	7,1
2	2,58	7,47

▼ Sulfato de amonio $(NH_4)_2SO_4$

Posee una riqueza de un 21% de N en forma amoniacal y un 23% de S, tiene una solubilidad de 730gr/l. En disolución se presenta:



- Sus características de conductividad eléctrica y pH son:

Concentración (g/l)	C.E. mmmhos/cm	pH
0,5	1,04	5,5
1	2,14	5,5
2	3,45	5,5

▼ Fosfato monoamónico $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

Contiene un 12% de N en forma amoniacal y un 61% de riqueza de P_2O_5 , su solubilidad es de 661 gr/l. En disolución se presenta:



- Sus características de conductividad eléctrica y pH son:

Concentración (g/l)	C.E. mmmhos/cm	pH
0,5	0,42	5
1	0,8	4,9
2	1,57	4,7

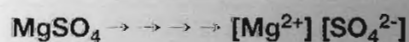
▼ Fosfato monopotásico KH_2PO_4

Contiene un 53% de P_2O_5 y un 34% de K_2O , su solubilidad es de 230 gr/l a 20 °C. En disolución se presenta:



▼ Sulfato de magnesio MgSO_4

Contiene un 10% de Mg y 13% de S, su solubilidad es de 700 gr/l a 20 °C. En disolución se presenta:



Concentración (g/l)	C.E. mmmhos/cm	pH
0,5	0,765	6,6
1	1,415	7,1
2	2,58	7,47

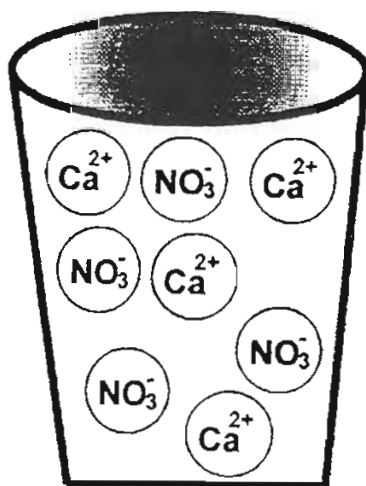
▼ Ácido fosfórico H_3PO_4

Existen distintos formulados comerciales, el formulado con un 75% de ácido contiene un 50% de P_2O_5 y el del 56% 40% de P_2O_5

Concentración (g/l)	C.E. mmmhos/cm	pH
0,5	0,959	2,81
1	1,672	2,62
2	2,59	2,09

13.3. Soluciones Nutritivas

Se entiende por solución nutritiva concentrada (solución madre), a la obtenida por la disolución de sales fertilizantes y que contienen los distintos nutrientes en formas iónicas, y en proporciones equilibradas para satisfacer las necesidades de la planta en un determinado periodo.



13.3.1. Preparación de las Soluciones Nutritivas

Las soluciones nutritivas de riego se consiguen a través de soluciones nutritiva concentradas (soluciones madre), mezcladas entre sí y diluidas en el momento de ser utilizadas.

Previamente a la preparación de la/las solución nutritiva concentradas es necesario conocer el grado de solubilidad de las sales fertilizantes y su compatibilidad para mezclarse entre sí.

Solubilidad:

Las características de solubilidad de las distintas sales fertilizantes se han expuesto anteriormente. En general, se debe tener en cuenta que la concentración máxima de la mezcla de sales fertilizantes en un depósito será la que corresponde a la sal con menor solubilidad.

Incompatibilidad de mezclas de sales fertilizantes.

La incompatibilidad de las sales fertilizantes utilizadas en riego localizado por goteo pierde importancia cuando esta se realiza a bajas concentraciones, como las que se presentan en la solución final que llega a la planta.

Cuando lo que se pretende es la preparación de las soluciones nutritivas concentradas (soluciones madre) es muy importante tener en cuenta la incompatibilidad de las sales fertilizantes, ya que se aportan en concentraciones elevadas, pudiendo producirse la formación de productos insolubles.

De forma general y según se expone en el cuadro nº 2, los sulfatos (SO_4^{2-}) y fosfatos (H_2PO_4^-) no se pueden mezclar con el calcio Ca^{2+} . Esto lleva a tener que incluir al menos dos depósitos en las instalaciones de fertilización de los cabezales de riego, de forma que en una de ellos se incluya las sales fertilizantes que tengan en su composición calcio (Ca) y en el otro el resto de sales fertilizantes. Normalmente en el depósito que incluya el calcio (Ca) se adicionarán los microelementos.

	Nitrato Amónico	Sulfato Amónico	Nitrato de Calcio	Fosfato Monopot.	Fosfato Monoam.	Sulfato Potásico	Sulfato de Magen.	Nitrato de Pota.
Nitrato Amónico	○	☒	■	☒	☒	☒	☒	☒
Sulfato Amónico	☒	○	■	☒	☒	☒	☒	☒
Nitrato de Calcio	■	■	○	■	■	■	■	☒
Fosfato Monopotás.	☒	☒	■	○	☒	☒	☒	☒
Fosfato Monoamón.	☒	☒	■	☒	○	☒	☒	☒
Sulfato Potásico	☒	☒	■	☒	☒	○	☒	☒
Sulfato de Magnesio	☒	☒	■	☒	☒	☒	○	☒
Nitrato de Potasio	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	○

☒ Compatible

■ Incompatible

Nota. - Recurrir a alternar los fertilizantes en los riegos, de manera que las aportaciones de calcio se realicen de forma individual en uno de los riegos, que se realizan en aquellas instalaciones que solo cuentan con un depósito o abonadora no es aconsejable, ya que puede originar desplazamientos indeseables de elementos nutritivos en el suelo, aunque si la instalación no permite una mejor solución, ésta será la única posible

Disolución de las sales fertilizantes

Los pasos a seguir serían los siguientes:

- aportar agua al depósito hasta completar el 40% del volumen final.
- poner en funcionamiento el agitador.
- incorporar las sales fertilizantes de una en una y empezando por la más soluble, sería conveniente aplicarlas con un cierto grado de disolución en un recipiente con agua.
- una vez disueltas las sales fertilizantes completar el volumen final del depósito con agua y homogeneizar la mezcla mediante agitación.
- es conveniente ajustar el pH de las soluciones concentradas con un valor de 5-5,5 para evitar la posible formación de productos insolubles. Este ajuste de pH se realiza con ácido nítrico.
- la solución nutritiva concentrada debe protegerse de la luz y prepararse para utilizarse en 5-7 días como máximo.

pH de la solución nutritiva de riego

La solución nutritiva de riego debe tener ajustado el pH con un valor de 5,5-6,5, con objeto que no se produzcan bloqueos indeseables de determinados elementos nutritivos, la corrección del pH se realiza mediante la adición de ácido nítrico en la red de riego utilizando un inyector individual que tomará el ácido directamente del envase comercial o de un depósito en el que estará diluido al 50%.

13.4. Casos Prácticos de Fertilización

13.4.1. Cálculo de Riquezas de Sales Fertilizantes

A continuación se realizan y se proponen unos ejercicios básicos de riquezas de sales fertilizantes, para recordar los aspectos de fertilización tratados en el módulo II.

- ▼ Ejemplo 1: Nitrato de potasio (KNO_3), su riqueza es 13-0-46

ABONO	RIQUEZA (%)	
	N	K_2O
Nitrato de potasio (KNO_3)	13	46

La riqueza viene dada en %, por lo que aportando 100 Kg de abono comercial, se suministran:

13 Kg de N
46 Kg de K_2O

De esta forma, ¿cuál sería la cantidad de N y K₂O que se aporta al realizar un suministro de 20 Kg de Nitrato Potásico?. La solución se obtiene mediante una sencilla regla de tres:

Aporte de **N**:

100 Kg Nitrato potásico (KNO₃) ⇒ ⇒ ⇒ 13 Kg N
 20 Kg Nitrato potásico (KNO₃) ⇒ ⇒ ⇒ **X** Kg N

$$X = \frac{20 \times 13}{100} = 2,6 \text{ Kg N}$$

Aporte de **K₂O**:

100 Kg Nitrato potásico (KNO₃) ⇒ ⇒ ⇒ 46 Kg K₂O
 20 Kg Nitrato potásico (KNO₃) ⇒ ⇒ ⇒ **X** Kg K₂O

$$X = \frac{46 \times 20}{100} = 9,2 \text{ Kg K}_2\text{O}$$

▼ Ejemplo 2: Cristalino 13-40-13

ABONO	RIQUEZA (%)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cristalino 13-40-13	13	40	13

Suministrando 100 Kg de este abono cristalino comercial se aportan:

13 Kg de N
 40 Kg de P₂O₅
 13 Kg de K₂O

De esta forma, ¿cuál sería la cantidad de N, P₂O₅ y K₂O se aportan al suministrar 15 Kg del complejo cristalino 13-40-13?

Aporte de **N**:

100 Kg Cristalino 13-40-13 ⇒ ⇒ ⇒ 13 Kg. N
 15 Kg Cristalino 13-40-13 ⇒ ⇒ ⇒ **X** Kg. N

$$X = \frac{13 \times 15}{100} = 1,95 \text{ Kg N}$$

Aporte de P_2O_5 :

100 Kg Cristalino 13-40-13 $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ 40 Kg. P_2O_5
 15 Kg Cristalino 13-40-13 $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ X Kg. P_2O_5

$$X = \frac{40 \times 15}{100} = 6 \text{ Kg } P_2O_5$$

Aporte de K_2O :

100 Kg Cristalino 13-40-13 $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ 13 Kg K_2O
 15 Kg Cristalino 13-40-13 $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ X Kg K_2O

$$x = \frac{13 \times 15}{100} = 1,95 \text{ Kg } K_2O$$

Las nuevas instalaciones de riego por goteo, en las que en la mayoría de ocasiones están dotadas de inyectoros proporcionales de soluciones nutritivas concentradas, permiten aplicar nuevos criterios de fertilización, en los cuales pierde vigencia las antiguas recetas de abonado en Kg. de sal fertilizante por 1.000 m². No obstante, es posible pasar mediante cálculos sencillos a formulaciones de abonado diferentes: conocida la concentración de abono que se va a aportar (en ppm), el volumen de agua utilizada en el riego y la superficie a regar, podremos expresarlo en la forma que deseemos. Lo importante en cualquier caso, es el sistema mediante el cual se distribuye el abono en el agua de riego. Lo ideal para la planta es distribuirlo de forma homogénea y equilibrada en todos y cada uno de los riegos, y esto va a depender de las posibilidades que el cabezal de riego nos permita.

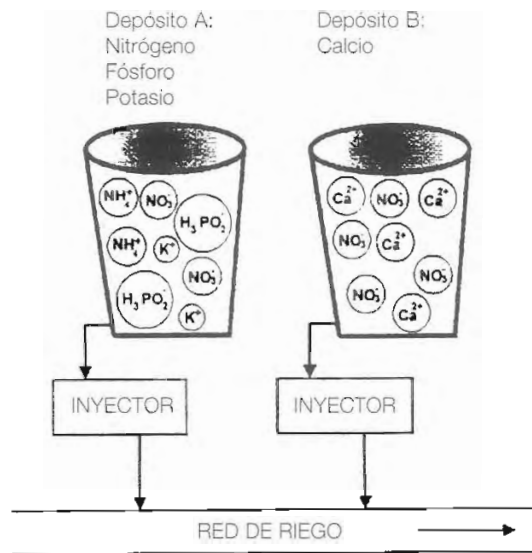
Los nuevos métodos de fertilización aplican procedimientos seguidos en los cultivos sin suelo, básicamente se pueden fijar dos métodos de aportación de elementos nutritivos:

- Establecer la concentración de elementos nutritivos óptima para un periodo en el agua de riego, de forma que los aportes sean constantes en todos los elementos evitando que el bulbo húmedo se sature de un determinado elemento.
- Establecer un equilibrio y un valor de conductividad eléctrica óptimo para un determinado periodo.

13.4.2. Fertilización en Función de la Concentración

El primer método consistiría en fijar cuales son las concentraciones de elementos nutritivos óptimas en un determinado periodo, determinar a que cantidades de sales fertilizantes corresponden y establecer el caudal de solución nutritiva concentrada (solución madre) a inyectar en la red de riego. Para una mejor comprensión se realiza el siguiente ejemplo.

Ej: En una instalación provista de un equipo de fertilización que responde al siguiente esquema:



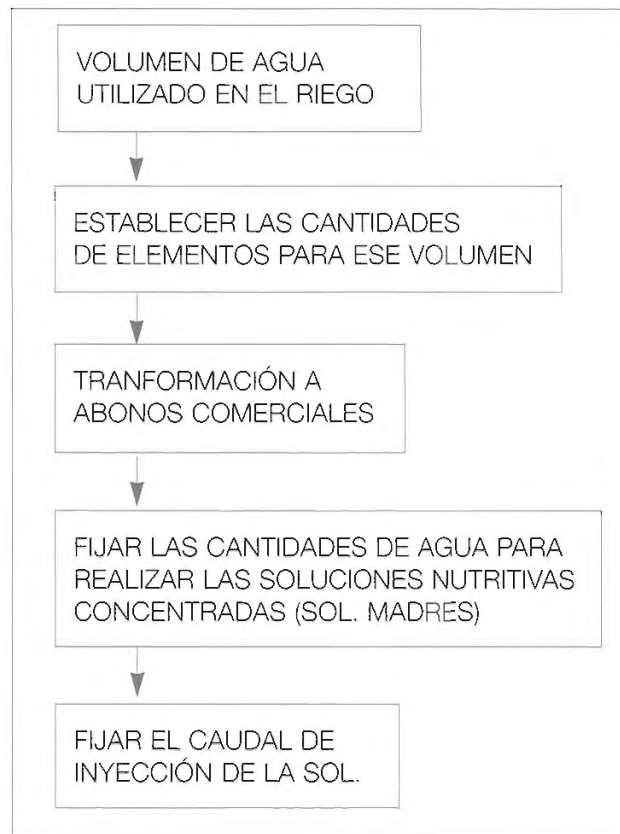
Calcular la cantidad de abonos que hay que disolver en cada uno de los tanques para obtener la concentración establecida y el caudal de inyección.

Datos:

- superficie del invernadero (igual a la unidad parcelaria de riego): 9200 m²
- marco de los goteros: 1 x 0,5 m
- caudal nominal del gotero: 3 l/h
- tiempo de riego: 40 min.
- disolución óptima:

N: 120 ppm
P₂O₅: 60 ppm
K₂O: 220 ppm
Ca: 40 ppm

Para realizar este ejemplo práctico se sigue la siguiente secuencia de cálculo:



▼ Cálculo del volumen de agua:

- nº de goteros en la superficie:

$1 \times 0,5 \text{ m} \Rightarrow 0,5 \text{ m}^2/\text{gotero}$
 $0,5 \text{ m}^2 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow 1 \text{ gotero}$
 $9.200 \text{ m}^2 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \mathbf{X} \text{ goteros}$

$$\mathbf{X = \frac{9.200 \times 1}{0,5} = 18.400 \text{ goteros}}$$

- volumen de agua en una hora:

$1 \text{ gotero} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow 3 \text{ l/h}$
 $18.400 \text{ goteros} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \mathbf{X}$

$$\mathbf{X = \frac{18.400 \times 3}{1} = 55.200 \text{ l/h}}$$

- volumen de agua consumida en el tiempo de riego:

$$\begin{array}{l} 60 \text{ min.} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow 55.200 \text{ l} \\ 40 \text{ min.} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \mathbf{X} \end{array}$$

$$\mathbf{X = \frac{55.200 \times 40}{60} = 36.800 \text{ l/l}}$$

- ▼ Cálculo de la disolución de riego (cantidad de elementos en el volumen utilizado):

N: 120 ppm
 P₂O₅: 60 ppm
 K₂O: 250 ppm
 Ca: 30 ppm
 ppm = mg/l

- cantidad de N:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ l agua} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow 120 \text{ mg N} \\ 36.800 \text{ l agua} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \mathbf{X} \end{array}$$

$$\mathbf{X = \frac{36.800 \times 120}{1} = 4.416.000 \text{ mg} = 4.416 \text{ g} = 4,416 \text{ Kg N}}$$

- cantidad de P₂O₅:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ l agua} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow 60 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \\ 36.800 \text{ l agua} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \mathbf{X} \end{array}$$

$$\mathbf{X = 2.208.000 \text{ mg} = 2.208 \text{ g} = 2,208 \text{ Kg P}_2\text{O}_5}$$

- cantidad de K₂O:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ l agua} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow 250 \text{ mg K}_2\text{O} \\ 36.800 \text{ l agua} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \mathbf{X} \end{array}$$

$$\mathbf{X = 9.200.000 \text{ mg} = 9.200 \text{ g} = 9,2 \text{ Kg K}_2\text{O}}$$

- cantidad de Ca:

1 l agua $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ 30 mg Ca
 36.800 l agua $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ X

$$X = 1.104.000 \text{ mg} = 1.104 \text{ g} = 1,104 \text{ Kg Ca}$$

▼ Transformación a abonos comerciales:

Los abonos empleados en este ejemplo serán:

- Nitrato amónico (33,5-0-0)
- Nitrato potásico (13-0-46)
- Fosfato monoamónico (12-61-0)
- Nitrato de calcio [15,5-0-0 17 Ca]

Al utilizar tres abonos binarios que aportan nitrógeno, en primer lugar se debe de ver que cantidad de estos abonos se van a emplear para descontar los aportes de nitrógeno del total necesario.

▼ Nitrato potásico:

100 Kg nitrato potásico $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ 46 Kg K_2O
 X Kg. nitrato potásico $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ 9,2 Kg K_2O

$$X = \frac{100 \times 9,2}{46} = 20 \text{ kg nitrato potásico}$$

- aportación de nitrógeno:

100 Kg nitrato potásico $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ 13 Kg N
 20 Kg nitrato potásico $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ X Kg N

$$X = \frac{13 \times 20}{100} = 2,6 \text{ Kg N}$$

▼ Fosfato monoamónico:

100 Kg fosfato monoamónico $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ 61 Kg P_2O_5
 X Kg fosfato monoamónico $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ 2,208 Kg P_2O_5

$$X = \frac{100 \times 2,208}{61} = 3,62 \text{ Kg fosfato monoamónico}$$

- aportación de N:

100 Kg nitrato potásico $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ 12 Kg N
 3,62 Kg nitrato potásico $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ X Kg N

$$X = 0,43 \text{ Kg N}$$

- ▼ Nitrato de calcio:

100 Kg nitrato de calcio $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ 17 Kg Ca
 X Kg. nitrato de calcio $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ 1,104 Kg Ca

$$X = 6,5 \text{ Kg nitrato de calcio}$$

- aportación de N:

100 Kg nitrato de calcio $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ 15,5 Kg N
 6,5 Kg nitrato potásico $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ X Kg N

$$X = 1 \text{ Kg N}$$

- ▼ Nitrato amónico:

Las necesidades finales de nitrógeno serán: $4,416 - 2,6 - 0,43 - 1 = 0,386$

100 Kg nitrato amónico $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ 33,5 Kg N
 X Kg nitrato amónico $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ 0,386 Kg N

$$X = 1,15 \text{ Kg nitrato amónico}$$

- ▼ Preparación de la solución nutritiva.

Nitrato amónico (solubilidad 2.400 g/l):	1,20 Kg depósito A
Nitrato potásico (sol. 257 g/l):	20,00 Kg depósito A
Fosfato monoamónico (sol. 333 g/l):	3,60 Kg depósito A
Nitrato de calcio (sol. 1.130 g/l):	6,50 Kg depósito B

De esta forma tendremos que en el depósito A se disolverán 24,77 Kg, mientras que en el B sólo se disolverán 6,5Kg, lo va a originar diferencias de densidades acentuadas. La solución más aconsejable sería compartir la cantidad de nitrato potásico en los dos depósitos, de forma que la solución final será:

- Depósito A: 1,20 Kg de nitrato amónico, 3,60 Kg de fosfato monoamónico y 10,85Kg de nitrato potásico.
- Depósito B: 6,5 Kg de nitrato de calcio y 9,15 Kg de nitrato potásico.

Para calcular el volumen mínimo de agua en el que se disolverán los distintos abonos se toma el 75% de la solubilidad más baja, de forma que el volumen será:

$$V = \frac{15,65}{0,25 \times 0,75} = 83,5 \text{ l}$$

$$V = \frac{15,65}{0,25 \times 0,75} = 83,5 \text{ l}$$

El volumen obtenido representa el valor mínimo en el se deberán disolver los abonos, pero su valor se puede incrementar en función de la capacidad de los depósitos, para este ejemplo se fija un volumen final de 200 l en el depósito A y B.

Si se van a mantener las dosis de los distintos elementos durante un periodo, se debe preparar el máximo volumen que permitan los depósitos, siempre y cuando dicho volumen se consuma en una semana como máximo.

▼ Caudal del inyector.

Dado que los caudales de los inyectores se fijan en l/h y en este ejemplo se ha fijado un tiempo de riego de 40min., obteniéndose un volumen de solución nutritiva concentrada a inyectar de 200l, por lo que se debe de obtener el volumen de inyección para una hora:

$$\begin{array}{l} 40 \text{ min.} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow 200 \text{ l solución} \\ 60 \text{ min.} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow X \text{ l} \end{array}$$

$$X = \frac{60 \times 200}{40} = 300 \text{ l/h}$$

Fijando el caudal de inyección en 300 l/h en los depósitos A y B, cualquier riego que se programe sea cual sea el tiempo, el agua tendrá la misma proporción de elementos nutritivos.

13.4.3. Fertilización en Función de la Conductividad Eléctrica

Este método está basado en fijar un equilibrio previo de los elementos nutritivos y un valor determinado de la conductividad eléctrica. En sí el método es el mismo que el seguido por los ordenadores de riego, en los que se fijan las proporciones de elementos en % y el valor de la conductividad eléctrica. Tiene el inconveniente de ser aproximado, ya que hay que utilizar la expresión:

$$[\text{sales totales (g/l)}] = 0,64 * \text{CE (mmhos/cm)} \Rightarrow \text{CE (mmhos/cm)} = [\text{sales totales (g/l)}] / 0,64$$

Esta expresión es aproximada, ya que las sales fertilizantes presentan índices salinos distintos. Por tanto partiendo de que el método es aproximado, se puede mejorar instalando en el cabezal un conductímetro, que permita realizar las correcciones necesarias sobre los cálculos una vez iniciado el riego.

13.4.4. Ejemplo de Ajuste de una Solución Nutritiva para Cultivo sin Suelo

A continuación se exponen los cálculos necesarios para obtener las cantidades de sales fertilizantes necesarias para obtener la solución nutritiva de riego en una instalación para cultivo sin suelo.

▼ La solución nutritiva que pretendemos conseguir es:

	ANIONES mMol/l					CATIONES mMol/l				
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Solución nutritiva	12,5	1,5	2	0,5	-	0,5	7	3,5	1,25	-

▼ El agua de riego de la que partimos tiene la siguiente composición:

	ANIONES mMol/l					CATIONES mMol/l					pH	CE
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺		
Agua de riego	-	-	0,75	3	-	-	-	0,5	1	1,5	7,7	0,42

		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺		
Agua de riego		-	-	0,75	3	-	-	-	0,5	1	1,5		
Solución nutritiva		12,5	1,5	2	0,5	-	0,5	7	3,5	1,25	-		
Aportes necesarios		12,5	1,5	1,25	-2,5	-	0,5	7	3	0,25	-		
H ₃ PO ₄	1,5mMol/l		1,5		-1,5								
HNO ₃	1mMol/l	1			-1								
Ca(NO ₃) ₂	3mMol/l	6							3				
KNO ₃	4,5mMol/l	4,5						4,5					
NH ₄ NO ₃	0,5mMol/l	0,5					0,5						
K ₂ SO ₄	1,25mMol/l			1,25				2,5					
MgSO ₄													
NH ₄ H ₂ PO ₄													
KH ₂ PO ₄													
Mg(NO ₃) ₂	0,25mMol/l	0,5								0,25			
Aportes reales		12,5	1,5	1,25	-2,5	-	0,5	7	3	0,25	-	pH	CE
Solución final (mMol/l)		12,5	1,5	2	0,5	-	0,5	7	3,5	1,25	1,55	5,8	1,94

▼ Los pasos seguidos para obtener la *solución nutritiva final* son:

1. Ajuste del pH.

El valor final de pH será de 5,8, para obtenerlo se neutralizan los bicarbonatos, y en su caso los carbonatos, hasta un valor de 0,5mMol/l, para ello se adicionan ácido nítrico y/o ácido fosfórico. En este caso se ha procedido del siguiente modo:

**0,5 mMol/l HCO₃⁻ (solución nutritiva) - 3 mMol/l HCO₃⁻ (agua de riego)
= -2,5 mMol/l a neutralizar**

- Adición de 1,5 mMol/l de ácido fosfórico => aporte de 1,5 mMol/l de H₂PO₄⁻
neutralización de 1,5 mMol de HCO₃⁻
- Adición de 1 mMol/l de ácido nítrico => neutralización de 1 mMol/l de HCO₃⁻
aporte de 1 mMol/l de NO₃⁻

De esta forma se ha aportado el fósforo necesario, 1 mMol/l de NO₃⁻ y se ha conseguido la neutralización de los bicarbonatos hasta el valor deseado, obteniendo un valor de pH de 5,8.

2. Ajuste de los macroelementos.

▼ Aporte de 3 mMol/l de Ca^{2+}		
• Adición de 3 mMol/l de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	⇒	aporte de 3 mMol/l de Ca^{2+} aporte de 6 mMol/l de NO_3 (de los 12,5 necesarios)
▼ Aporte de 0,5 mMol/l de NH_4^+		
• Adición de 0,5 mMol/l de NH_4NO_3	⇒	aporte de 0,5 mMol/l de NH_4^+ aporte de 0,5 mMol/l de NO_3
▼ Aporte de 0,25 mMol/l de Mg^{2+}		
• Adición de 0,25 mMol/l de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	⇒	aporte de 0,25 mMol/l de Mg^{2+} aporte de 0,5 mMol/l de NO_3

Los nitratos aportados hasta el momento son de: 1 mMol/l (ácido nítrico) + 6mMol/l (nitrato de calcio) + 0,5 mMol/l (nitrato amónico) + 0,5 mMol/l (nitrato de magnesio) = 8; para llegar al valor establecido en la solución nutritiva de 12,5 faltan que adicionar 4,5 mMol/l de NO_3 . Para ello 4,5 mMol/l de K^+ se aportarán con nitrato de potasio, completando de esta forma la cantidad de NO_3 .

▼ Aporte de 4,5 mMol/l de K^+		
• Adición de 4,5 mMol/l de KNO_3	⇒	aporte de 4,5 mMol/l de K^+ aporte de 4,5 mMol/l de NO_3

Para completar todos los aportes necesarios quedaría 2,5 mMol/l de K^+ y 1,25 de SO_4^{2-} , por lo que se procede a adicionar 1,25 mMol/l de sulfato de potasio.

• Adición de 1,25 mMol/l de K_2SO_4	⇒	aporte de 2,5 mMol/l de K^+ aporte de 1,25 mMol/l de SO_4^{2-}
---	---	---

De esta forma quedan suministrados todos los aportes necesarios de macroelementos. Para saber si el ajuste realizado es correcto se comprueba que la suma de aniones y la de cationes son aproximadamente igual, admitiéndose una diferencia máxima entre las dos sumas de un 10 %. En el cuadro nº 4 se expone la transformación de mMol/l a meq/l y de mMol/l a mg/l (ppm) y los coeficientes que se utilizan.

	ANIONES					CATIONES				
	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
Solución final mMol/l	12,5	1,5	2	0,5	-	7	3,5	1,25	1,55	1,55
Coeficiente	x 1	x 1	x 2	x 1	x 1	x 1	x 2	x 2	x 2	x 1
Solución final meq/l	12,5	1,5	4	0,5	-	7	7	2,5	1,5	1,5
	Σ Aniones = 18,5 meq/l					Σ Cationes = 18,5 meq/l				
Solución final mMol/l	12,5	1,5	2	0,5	-	0,5	7	3,5	1,25	1,5
Coeficiente	x 62	x 97	x 96	x 61	x 35,5	x 18	x 39	x 40	x 24	x 23
Solución final en ppm	775	145	192	30	-	9	273	140	30	34

Nota.- Como se puede ver en el cuadro cumple la comprobación

3. Ajuste de microelementos.

Si establecer una solución tipo o ideal de macroelementos resulta difícil, fundamentalmente debido a la falta de información respecto a las necesidades de cada especie, comportamientos particulares de las variedades, estados de desarrollo, condiciones climáticas y labores culturales, aún resulta más complicado establecer las necesidades de microelementos en cada caso. En la siguiente tabla se exponen los valores propuestos por algunos investigadores:

	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	B (mg/l)	Mo (mg/l)
Coic	0,8	0,65	0,2	0,1	0,3	0,05
Steiner	2	0,7	0,02	0,09	0,5	0,04
Adas	3	1	0,1	0,1	0,2	0,05

A efectos prácticos se suele aplicar directamente productos comerciales que se denominan complejos de microelementos, evitándonos manejar un gran número de productos. Para que sirva de ejemplo, a continuación se expone la composición de un producto comercial muy utilizado en estos casos:

7,5% de Fe-EDTA
 3,3% de Mn-EDTA
 0,6% de Zn-EDTA
 0,27% de Cu-EDTA
 0,65% de B en forma de tetraborato sódico
 0,2% de Mo en forma de molibdato sódico

La dosis utilizada oscila de 2 a 3Kg de producto para 1.000l de solución madre 100 veces concentrada. Como se puede apreciar la forma quelatada del hierro es la EDTA, que puede estar indicada en aquellos casos en los que se realice control del pH del agua de riego, pero para los casos en los que no se realice este control y el pH del suelo resulte alcalino la forma más indicada será la EDDHA.

4. Cálculo de la conductividad de la solución nutritiva de riego.

El cálculo teórico de la conductividad final del agua de riego se puede realizar por tres métodos distintos:

▼ El método de los miliequivalentes consiste en dividir el total de miliequivalentes de cationes o aniones por un factor cuyo valor oscila de 10 a 12 (el resultado viene dado en mmhos/cm), se utiliza el factor 10 para conductividades bajas y 12 para altas, considerando que conductividades < de 4mmhos/cm se pueden considerar bajas a estos efectos y > de 4 conductividades altas. En este caso:

$$18,5 / 10 = 1,85 \text{ mmhos/cm.}$$

▼ El segundo método consiste en dividir la concentración total de sales (expresada en gr/l) por un factor que varía de 0,7, para conductividades bajas, a 0,9 para conductividades altas.

$$1628 \text{ mg/l} = 1,628 \text{ g/l}; 1,628 / 0,8 = 2,035 \text{ mmhos/cm}$$

Haciendo el valor medio de los dos valores obtenidos tendremos el valor teórico calculado de la conductividad eléctrica:

$$[1,85 + 2,035] / 2 = 1,94 \text{ mmhos/cm.}$$

5. Cantidad de sales fertilizantes requerida.

Del cuadro nº 3 se obtienen las cantidades de los distintos abonos en mMol/l, que a través de los coeficientes establecidos en el siguiente cuadro se transforman a mg/l y g/l.

	Cantidad mMol/l	Coefficiente	Cantidad mg/l	Cantidad g/l (mg/l/1.000)
Ácido fosfórico - H_3PO_4	1,5	Ácido 75% x 0,082	0,123 cm ³ /l	
		Ácido 56% x 0,138	0,207 cm ³ /l	
Ácido nítrico - HNO_3	1	Ácido 56% x 0,085	0,085 cm ³ /l	
		Ácido 37% x 0,138	0,138 cm ³ /l	
Nitrato de calcio - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	3	x181	543	0,54
Nitrato de potasio - KNO_3	4,5	x101	454	0,45
Nitrato de amonio - NH_4NO_3	0,5	x80	40	0,04
Sulfato de potasio - K_2SO_4	1,25	x174	217	0,22
Sulfato de magnesio - MgSO_4	-	x246	-	-
Fosfato monoamónico - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	-	x115	-	-
Fosfato monopotásico - KH_2PO_4	-	x136	-	-
Nitrato de magnesio - $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	0,25	x256	64	0,06

Para convertir mMol/l \Rightarrow mg/l se multiplica por el peso molecular (coeficiente que aparece en la tabla)

En la tabla se exponen dos alternativas para cada ácido, los coeficientes se obtienen de la siguiente forma:

- 1mMol de ácido fosfórico del 100% pesa 98mg.
- Si se utiliza un ácido del 75%, la cantidad de este ácido para aportar 1mMol de ácido puro será:

$$98 \times [100 / 75] = 130,6 \text{ mg} = 0,1306 \text{ g}$$

- Como su densidad es de 1,58 g/cm³: $0,1306 \text{ g} / 1,58 \text{ g/cm}^3 = 0,082 \text{ cm}^3$

6. Preparación de las soluciones madre.

De forma general, y con independencia de cada caso particular, es común estandarizar las soluciones madre para tanques de capacidad 1.000 l y 100 veces concentrada, de forma que la disolución en la solución nutritiva de riego tenga relación 1:100 (se aportan 1l de solución madre por cada 100 l de agua de riego). En el cuadro siguiente, se exponen los cálculos necesarios para obtener las cantidades de sales fertilizantes que se habrán de aportar a los tanques de la solución madre.

	Cantidad g/l	Capacidad del tanque 1.000l	Concentración 100 (Relación 1:100)	Cantidad de sales fertilizantes
Ácido fosfórico - H_3PO_4	0,123cm ³ /l	x1.000	x100	12,3l
	0,207cm ³ /l	x1.000	x100	20,7l
Ácido nítrico - HNO_3	0,085cm ³ /l	x1.000	x100	8,5l
	0,138cm ³ /l	x1.000	x100	13,8l
Nitrato de calcio - $Ca(NO_3)_2$	0,540	x1.000	x100	54,3Kg
Nitrato de potasio - KNO_3	0,450	x1.000	x100	45,4Kg
Nitrato de amonio - NH_4NO_3	0,040	x1.000	x100	4Kg
Sulfato de potasio - K_2SO_4	0,220	x1.000	x100	21,7Kg
Sulfato de magnesio - $MgSO_4$	-	x1.000	x100	-
Fosfato monoamónico - $NH_4H_2PO_4$	-	x1.000	x100	-
Fosfato monopotásico - KH_2PO_4	-	x1.000	x100	-
Nitrato de magnesio - $Mg(NO_3)_2$	0,060	x1.000	x100	6,4Kg
Complejo de microelementos				2-3Kg

Nota.- Si varía la capacidad del tanque se sustituirá el valor 1.000 por su capacidad.

Si se establece una nueva relación de concentración, se sustituirá el valor 100 por la nueva concentración.

Las consideraciones a tener en cuenta, en el manejo de las sales fertilizantes para la preparación de las soluciones madre han sido expuestas anteriormente.

Ejemplos de Problemas de Fertirriego

1.- Sustituir la aplicación de 1,5 Kg/1.000 m² del complejo 13-40-13, para su aplicación a una superficie de 4.500 m², por fosfato monoamónico, nitrato potásico y nitrato amónico.

2.- Calcular en que equilibrio se encuentra el nitrógeno (N), fósforo (P₂O₅) y el potasio (K₂O), si se están aplicando:

- 0,5 Kg. de nitrato amónico
- 1 Kg. de fosfato monoamónico
- 0,5 Kg. de nitrato potásico

3.- Las necesidades de un cultivo durante el primer mes de plantación es:

- 8 Kg. de N/Ha.
- 20 Kg de P₂O₅/Ha.
- 8 Kg. de K₂O/Ha.

Si se programan tres riegos semanales, calcular las cantidades de abonos comerciales a aplicar en cada uno de ellos, para una superficie de 7.500 m².

4.- Calcular el volumen de inyección en una instalación de fertirriego dotada de un venturi con su correspondiente caudalímetro regulada en 150 l/h, en los siguientes casos:

- tiempo de inyección 35 minutos

- tiempo de inyección 40 minutos
- tiempo de inyección 20 minutos

5.- En una instalación similar a la anterior, calcular la regulación del caudalímetro en los siguientes casos:

- para inyectar 80 l en 20 minutos
- para inyectar 120 l en 45 minutos
- para inyectar 160 l en 75 minutos

6.- Calcular la cantidad de sales fertilizantes en Kg. cada 1.000 m², que se aplican en un invernadero de 6.500 m² de superficie dotado de un equipo de fertilización con un inyector y un depósito de 500 l de capacidad en el que se han disuelto 65 Kg. de nitrato potásico, 19,5 Kg. de nitrato amónico y 26 Kg. de fosfato monoamónico. Teniendo en cuenta que la regulación del inyector es de 250l/h y el tiempo de riego es 30 minutos.

7.- En un determinado cultivo se ha programado un riego de 40 min. a una superficie de 5.500 m², en el que los goteros están dispuestos a marco 1 x 0,5 m y su caudal nominal es de 3 l/h. Las necesidades en ese momento para el cultivo se satisfacen con una concentración de elementos nutritivos de :

120 ppm N 75 ppm P₂O₅ 225 ppm K₂O

Calcular la cantidad de abonos comerciales en nitrato amónico, fosfato monoamónico y nitrato amónico, para satisfacer estas necesidades. Suponiendo que el sistema de inyección de abonos está constituido por venturís y las cantidades de abono se disuelven en 300 l de agua, fijar el caudal de inyección del venturí.

14. Manejo de Equipos

14.1. Lavado a Fondo Recién Montada

- ▼ Eliminar restos de plásticos, tierra, etc.
 - Mantener los finales de las tuberías abiertos.
 - Velocidad mínima del agua para el lavado: 3 m/seg.

14. 2.. Revisiones de Principio de Temporada

14.2.1. Revisión del Filtro de Arena

- ▼ Espesor de la arena (40-50 cm.).
- ▼ Limpieza (si fuese necesario):
 - Ácido clorhídrico (2% del volumen del filtro).
 - Mantener 12 horas.
 - Limpiar, invirtiendo el paso del agua.
- ▼ Revisar la malla del colector.

14.2.2. Limpieza de la Instalación: (al final y al principio de temporada)

- ▼ Tratamiento con ácido. (1-2%, 15-20 minutos y baja presión)
- ▼ Extremos tuberías abiertos. (aumentar presión. 15-20 minutos)
- ▼ Revisión de emisores. (si existe cultivo bajar la dosis de ácido y aumentar el tiempo de limpieza a 30 minutos)

14.2.3. Otros Elementos

- Válvulas
- Reguladores
- Ventosas
- Manómetros
- Etc.

Revisión pormenorizada y desmontar, si fuese necesario, para su limpieza y reparación.

14.2.4. Realizar Prueba para Determinar Coeficiente de Uniformidad

(Ver Capítulo 15)

14.3. Revisiones Frecuentes

14.3.1. Limpieza Filtro de Arena

- Una vez por semana o cuando la pérdida de carga sea superior a 3-5 m.c.a. (ver datos del fabricante).

14.3.2. Limpieza Filtro de Malla o Anillas

- Antes de cada riego o con pérdida de carga superior a 4 m.c.a. (ver datos del fabricante).
- Según obstrucciones, sacar el cartucho y limpiar con agua a presión, o sumergir en una disolución de ácido (1-2%) durante unos 15 minutos, cepillando después (usar cepillo de cerdas suaves para evitar la rotura de la malla).

14.3.3. Limpieza del Tanque Fertilizante

- Al menos una vez cada 15 días, con agua a presión.

14.3.4. Comprobación de Presión en Ramales Portagoteros

- Con periodicidad quincenal.

14.3.5. Goteros y Conexiones:

- Frecuentemente, para comprobar obturaciones y pérdidas de agua.

14.4. Manejo del Fertirriego

- Iniciar el riego con agua sola hasta que todos los goteros estén a régimen normal de trabajo.
- Comenzar a abonar no pasando de 1 gr. de abono por litro de agua. (A mayor salinidad del agua y del suelo, menor concentración).
- Terminar de abonar y seguir regando hasta lavar las tuberías:
 - Dentro del tiempo de riego "T":

Abonado: 80% de "T"

Lavado: 20% de "T"

14.5. Aplicación de Ácidos

Para añadir los ácidos de limpieza se deberá tener en cuenta, tanto cuando se realiza durante el riego como si se hace al final del mismo, lo siguiente:

Calcular el volumen del tanque de fertilización y el de las conducciones. Multiplicar por dos este volumen y elegir la cantidad de ácido que se precisa según dosis.

Ejemplo:

El volumen de tanque y tuberías es de $6,5 \text{ m}^3$, que multiplicados por dos son 13. Si vamos a incorporar ácido nítrico a razón de 100 centímetros cúbicos por m^3 , necesitaremos: $100 \times 13 = 1,3$ litros de ácido.

Verter el ácido en el tanque de fertilización. *(Siempre el ácido sobre el agua y nunca al contrario).*

Poner la instalación en marcha y mantenerla el tiempo necesario hasta que el ácido salga por el último gotero.

Suspender el riego durante media hora y, a continuación, iniciarlo nuevamente. Si las aguas son duras esta práctica puede hacerse al final del riego y dejar el ácido en el interior de las conducciones hasta el riego siguiente.

Si no se dispone de tanque de fertilización sino de depósito y bomba inyectora, tras verter el ácido en el depósito, se graduará la bomba para que sea inyectado hasta agotarse durante el tiempo que tarda en llegar al último gotero.

Si a pesar de estas prácticas aún permanecieran las obturaciones, se puede repetir la actuación aumentando la presión de trabajo.

Para el manejo de ácido es imprescindible el uso de guantes, gafas y ropa impermeable, para evitar las quemaduras si hay contacto directo.

14.6. Limpieza Fin de Temporada

- Hacer lavado a fondo.
- Desmontar los filtros.
- Engrasar todas las piezas móviles.
- Cubrir el cabezal para protegerlo del polvo.
- Cortar (no arrancar) las líneas portagoteros, tapando los terminales cortados.
- Enrollar y guardar.

14.7. Manejo en Caso de Lluvia

- No dejar de regar si hay peligro de salinidad.
- Lavar, mediante riego, el barro de los goteros antes de que se seque.

14.8. Consideraciones Generales Sobre el pH

– *pH bajo*: Bloqueo de N, P, Ca y Mg

– *pH alto*: Bloqueo de K (sobre todo en suelos calizos), Mn, B, Cu y Zn.

Produce precipitaciones en aguas duras, por lo que se debe fijar un pH entre 6 – 6.5 para evitar obturaciones.

CAUSAS Y SOLUCIONES DE LAS OBTURACIONES DE LOS FILTROS

PROCEDENCIA DEL AGUA	CAUSA PROBABLE DE OBSTRUCCIÓN	SOLUCIONES
Directamente de pozo (sin estar agotado) Agua de más de 0,5 ppm de Fe y menos de 1 ppm.	Proliferación de bacterias.	Construir balsa y utilizar el agua pasadas 12 horas, exigiéndose tratamiento contra algas y bacterias.
Del pozo anterior, a través de una balsa.	Algas, bacterias, caracolillos y larvas de insectos.	Tratar el agua con sulfato de cobre a razón de 5 a 10 gr por m ³ . En verano cada semana y en invierno cada 30-45 días. El sulfato de cobre puede sustituirse por hipoclorito sódico o lejía a razón de 75 c.c de éste último por m ³ o por permanganato potásico 2-3 cc/m ³ de agua
Si el agua anterior tiene menos de 0,2 ppm. de Fe.	Algas, caracolillos, larvas.	Tapar la balsa, o tratar el agua como en el caso anterior.
De pozo, algo agotado, directamente al cabezal.	Arena.	Instalar un hidrociclón antes del filtro de arena.
Conducida por canales abiertos a una balsa. Agua con menos de 0,2 ppm. de Fe.	Arena, limo, algas, bacterias, raicillas, insectos.	Tratar el agua de la balsa. Colocar la salida de la balsa como mínimo a 25 cm. del fondo. Mejor alcachofa flotante.
Aguas residuales (indistinta conducción).	Diversos materiales en suspensión.	Imprescindible un filtro tipo Yack antes del de arena.

CAUSAS Y SOLUCIONES DE LAS OBTURACIONES FRECUENTES DE LOS GOTEROS

Como frecuentes deben entenderse que cada vez que se ponga en marcha la instalación para regar, se observa que bastantes goteros no dejan salir agua por ellos, detectándolo porque la mancha de humedad alrededor de los mismos no es manifiesta.

CAUSAS DE OBSTRUCCIÓN	POSIBLE SOLUCIÓN
Orificio de salida menor de un milímetro	Cambiar goteros y regular todo el planteamiento técnico del sistema.
Raspaduras y restos de plástico.	Quitar tapones finales de las líneas portagoteros, dejando salir el agua durante unos 20 minutos. Después colocarlos de nuevo.
Algas, bacterias.	Instalar filtro de arena y tratar el agua como se indica en los filtros.
Arena.	Imprescindible usar hidrociclón y filtro de arena, y si aún continuase, prefiltrar el agua antes de la entrada de cabezal como se indica para los filtros.
Incrustaciones por precipitaciones de sales de hierro o manganeso.	Eliminar todos los empalmes y juntas de hierro del cabezal. Si el análisis del agua ofreciese más de 1 ppm. de Fe., embalsar el agua, tal como se indica en los filtros y, si aún continúan las obstrucciones, terminar el riego añadiendo al agua ácido nítrico del 65%, a razón de 500 a 1.000 c.c por m ³ de la capacidad de la instalación (cabezal más conducciones). No utilizar ácido clorhídrico a partir de ppm 0,2 de Fe. No emplear como fertilizante el fosfato mono o bicálcico y con precaución el ác. fosfórico.
Incrustaciones por precipitación de sales de calcio (carbonatos y bicarbonatos)	Limpiar cada día los filtros de malla. Tratamiento diario con ácido nítrico, a las mismas dosis y forma que la descrita para el Fe. No utilizar abonos que contengan cal o la puedan producir. Usar fertilizantes de reacción ácida. En último extremo recurrir a la instalación de un descalcificador.

14.9. Actuaciones Convenientes para la Prevención de Obturaciones

14.9.1. Según la Calidad del Agua

▼ Si tiene un pH igual o superior a 7,5:

- Colocar bolas de polifosfato amónico en el filtro de arena, y si aún continuasen los problemas:
- Tratamiento diario con ácido nítrico para bajar el pH a 6-6,5, o montar un descalcificador.
- Utilizar fertilizantes de reacción ácida.

- Usar los fosfatos en forma de ácido fosfórico.
- Limpieza diaria de los filtros de malla o anillas.
- Limpieza total del sistema cada 3 ó 4 meses.

▼ **Si tiene entre 0,8 y 2 ppm de Fe:**

Buscar otras aguas y si esto no es posible:

- Airear el agua en una balsa durante 12 horas.
- Tratar el agua de la balsa.
- Tratamiento diario con ácido nítrico a razón de 200 c.c./m³. (Regar con pH controlado)
- Eliminación de todos los elementos de hierro del cabezal.

14.9.2. Según la Procedencia del Agua

▼ Si es de pozo en buen estado y llega al cabezal directamente por tubería cerrada:

- Basta con un filtro de malla adecuada de 150 mesh.

▼ Si es de pozo en buen estado, pero llega al cabezal desde una balsa:

- Tratar el agua con sulfato de cobre e instalar un filtro de arena.

▼ En el resto de los casos:

• Prefiltrar el agua con filtros tipo yack o hidrociclones (según los casos), antes de pasarla por el filtro de arena.

En todos los casos, limpiar los filtros durante 5 minutos, diariamente

15. Determinación de Coeficiente de Uniformidad (C.U.) de un Sistema de Riego

El conocimiento de la uniformidad en el reparto del agua de un sistema de riego localizado es fundamental para dosificar el agua de las plantas y los elementos aportados con ella (abonos, ácidos, pesticidas, etc...).

En los casos en los que se presente baja uniformidad, en un mismo sector de riego habrá plantas que reciban la cantidad de agua determinada, plantas que estén sobredosificadas y otras que presenten deficiencias hídricas, esto supondrá una gran alteración en el desarrollo, tanto más acentuada, cuanto menor sea la uniformidad. Habrá, también, un mal reparto de abono y por tanto problemas de sobrenutrición con desperdicio de nutrientes y situaciones de carencia, que en ambos casos afectarán a la producción.

En la mayor parte de los casos, para instalaciones bien diseñadas, la falta de uniformidad significa problemas de funcionamiento: obturaciones, caídas de presión por el mal estado de algún elemento del cabezal, etc. En otros casos, los defectos pueden ser de

diseño o montaje. Con una práctica tan sencilla como la que a continuación proponemos podemos detectar la falta de uniformidad y solucionar pequeños problemas para mejorar el funcionamiento de la instalación.

15.1. Realización de la Práctica de Toma de Datos de Caudal Para el Control de un Sector

En primer lugar se debe efectuar una revisión y limpieza, en su caso, de todos los elementos del cabezal, comprobando que la presión que llega al sector que pretendemos controlar sea la adecuada. (normalmente 10 mca..., comprobar con datos de diseño).

Seleccionar cuatro línea, portagoteros, la de mayor presión, la de menor presión y dos intermedias. (En parcelas llanas suelen coincidir con la primera, última y dos intermedias). En caso de duda comprobar presión con un manómetro y elegir según resultados obtenidos. De cada línea portagoteros elegida seleccionar cuatro emisores con el mismo criterio anterior. (mayor presión, menor y dos intermedios). Todos los emisores elegidos se numeran (Ver Anexo 1), se marcan con una cinta de color para sucesivos controles y se practica un hueco para alojar un recipiente bajo cada uno. Seguidamente se recoge el caudal de cada uno de los emisores en un tiempo igual para todos (entre 3 y 6 minutos), se mide en una probeta graduada y se refleja en la ficha correspondiente (anexo 1).

Si en lugar de gotero tuviésemos instalada cinta de exudación, la recogida se efectuará por medio de bandejas de 1 m de longitud y un tiempo entre 10 y 30 minutos.

15.2. Cálculo de C.U. de Caudales de un Sector de Riego

Obtenidos los datos de caudal de los 16 emisores elegidos, se procede a realizar los cálculos.

$$C.U. = \frac{q_{25}}{q_a} \times 100$$

(Modificación de Christiansen para riego por aspersión)

C.U.= Coeficiente de uniformidad.

q₂₅= Caudal medio del 25% de los goteros (los 4 de menor caudal).

q_a= Caudal medio de todos los emisores (los 16).

VALOR DE C.U.	CALIFICACIÓN
Mayor de 94%	Excelente
De 86-94%	Buena
De 80-86%	Aceptable
De 70-80%	Pobre
Menor de 70%	Inaceptable

15.3. Posibles Causas de la Baja Uniformidad

- ▼ Caudales muy variables localizados de manera dispersa

Las causas más probables pueden ser:

- Obturaciones: Corregir procediendo a la limpieza y comprobar de nuevo el C.U.

- Irregularidades de los propios emisores: debido al cansancio, sensibilidad a la variación de la temperatura o por un mal coeficiente de variación de fabricación. Sustituir los emisores.

- ▼ Irregularidad en el caudal imputables a la presión: comprobar presión y corregir según las tres premisas siguientes. (Hacer C.U. midiendo presiones y aplicando misma fórmula)

a) Los emisores de menor caudal son los de cola de los ramales portagoteros (nº 2, 8, 12 y 16). (líneas portagoteros mal diseñadas).

- Reducir longitud de ramal portagoteros
- Aumentar diámetro de tubería
- Unir los ramales portagoteros por su final con otra tubería terciaria de presión.

b) Los emisores de menor caudal corresponden a los del último ramal (nº 13, 14, 15, 16). Mal dimensionada la tubería terciaria.

- Aumentar diámetro de ramal terciario
- Dividir en dos subsectores
- Cambiar punto de entrada del agua del ramal secundario al terciarios (llevarlo al centro).

c) En parcelas onduladas, coincidencia de emisores con menor caudal con zonas más altas. Emisores inadecuados, sustituir por autocompensantes.

Realizar la misma práctica para cada uno de los sectores que compongan el sistema de riego.

Esta comprobación debería hacerse al entregarnos la instalación recién montada y de dos a tres controles por campaña, uno siempre al principio de cada período de riego.

15.4. Corrección de la Dotación de Agua en Función al C.U.

Si determinamos el tiempo de riego de una parcela sin tener en cuenta el C.U, o en función de la media de descarga obtenida, una parte de las plantas recibirán correctamente el agua prevista y el abono, otro grupo, más agua y abono y otro grupo menos.

Nuestra preocupación se debe centrar en que el grupo más desfavorecido de plantas reciba la dosis estimada, aunque suframos un aumento del consumo de agua y fertilizante que estará en proporción inversa al C.U.

- ▼ El tiempo de riego (T_r) se determina por la dosis de agua que hemos de aportar (l/m^2) dividida por el caudal medio de los goteros de $1m^2$ (n).

$$T = \frac{1/m^2}{q_a \times n}$$

▼ Para una dosis de 20 l/m² (20 mm) de aportación con dos goteros por m² y q_a de 2 l/h:

$$Tr = \frac{20}{2 \times 2} = 5 \text{ horas}$$

▼ Para calcular tiempo de riego ajustado (Tra) en función del C.U.:

$$Tra = \frac{1 / m^2}{q_{25} \times n^o}$$

▼ Con el mismo marco y dosis anterior y un q₂₅ de 1,8 l/h, sería:

$$Tra = \frac{20}{1,8 \times 2} = 5,5 \text{ h}$$

por tanto media hora más de riego para aportar la dosis correcta al grupo de plantas más desfavorecidas.

16. Otros Sistemas de Riego

16.1. Riego Superficial

El riego superficial admite varias modalidades:

- Riego por surcos.
- Riego por corrugaciones.
- Riego por fajas.
- Riego por inundación.

16.1.1. Riego por Surcos

Consiste en hacer fluir el agua por pequeños canales que la transportan a medida que desciende por la parcela. El agua se infiltra por el fondo y los lados del surco.

El terreno se divide mediante una serie de surcos paralelos, superficiales, estrechos y separados por caballones.

Requiere una preparación adecuada del terreno, que proporcione una pendiente uniforme a todo lo largo de los surcos.

La preparación del terreno se hace de dos maneras:

- Los surcos se hacen antes de la siembra, al dar el primer laboreo, sembrando a continuación en los lomos.
- Se hace una labor plana, luego se siembra en línea y cuando llega el momento de aporcar se hacen los surcos.

La orientación de los surcos varía según la pendiente del terreno. Cuando ésta es excesiva los surcos se orientan en sentido oblicuo con relación a la pendiente, a fin de que el agua no circule con demasiada rapidez y erosione el suelo.

16.1.1.1. Ventajas e inconvenientes del riego por surco

Las **ventajas** que presenta el riego por surco, frente a los otros sistemas de riego superficial, se pueden sintetizar en las siguientes:

- El riego no interrumpe las demás labores, ya que la tierra permanece seca entre los surcos.
- Las plantas no se mojan, con lo que evitan ciertas enfermedades.
- En pendientes altas se evitan problemas de erosión, a condición de utilizar caudales pequeños.
- Con el empleo de surcos en curvas de nivel se pueden reducir o evitar gastos de nivelación.

Los principales **inconvenientes** son:

- La existencia de caballones dificulta las labores cruzadas.
- Las pérdidas de agua en suelos arenosos pueden condicionar la utilización de surcos.

- La lentitud del riego y la demanda de mano de obra en algunas circunstancias pueden hacerlo no rentable.

16.1.2. Riego por Corrugaciones

Se puede considerar como una variante del riego por surco ya que las corrugaciones son surcos de escasa profundidad. La principal diferencia con el sistema de surcos tradicionales es que las corrugaciones no están separadas por caballones.

La preparación del terreno es menos costosa que con los surcos. Se precisa una pequeña nivelación para eliminar las elevaciones, que quedarían sin regar o deficientemente regadas, y las depresiones, que quedarían inundadas, con el consiguiente daño a la planta.

Las corrugaciones se suelen orientar en el sentido de la pendiente más pronunciada.

Este método se suele utilizar en plantas tupidas, no cultivadas, tales como alfalfa y pastos, que se pueden regar con pendientes cercanas al 10%. Los suelos más adecuados son los franco-limosos, francos y franco-arcillosos, siendo poco utilizado en los suelos arenosos.

16.1.2.1. Ventajas e inconvenientes

Las principales **ventajas** que presenta el riego por corrugaciones son las siguientes:

- Exige una nivelación más ligera y menos costosa que el riego por surcos.
- No dificulta el uso de maquinaria agrícola en las labores de cultivo.
- Se pueden regar suelos con pendientes elevadas.

Sus **inconvenientes** más notables son:

- No es apropiado para cualquier tipo de cultivo.
- El bajo caudal y longitud de las corrugaciones exige gran cantidad de mano de obra.
- No debe aplicarse en suelos arenosos con pendientes medias.

16.1.3. Riego por Fajas

El riego por fajas o tablares rectangulares consiste en que el agua escurra suavemente, en una lámina delgada, durante el transcurso del riego. El terreno se divide en unas porciones estrechas o fajas, separadas unas de otras mediante caballones dispuestos longitudinalmente. En el extremo inferior de las fajas existe un canal de desagüe para recoger los sobrantes del riego.

Este método de riego requiere una nivelación del terreno muy precisa, para asegurar una distribución uniforme del agua en toda la anchura de la faja.

Los suelos más adecuados son los de textura media, permeables y cuya profundidad permita el movimiento de tierra que requiera, de acuerdo con su pendiente.

16.1.4. Riego por Inundación

El riego por inundación consiste en cubrir el suelo con una capa de agua de mayor o menor espesor, a la que se deja reposar durante el tiempo necesario para que penetre, por infiltración, hasta la profundidad útil de riego.

Cuando la pendiente del terreno es muy pequeña, es prácticamente imposible hacer que circule el agua en lámina delgada.

El terreno se divide en compartimentos cerrados por medio de diques o caballones, dentro de los cuales se puede regular el agua de riego. La inundación puede ser temporal o permanente.

La preparación del terreno suele ser bastante costosa.

16.2. Riego por Aspersión

En el riego por aspersión el agua se aplica en forma de lluvia sobre la superficie que se pretende regar. Los aspersores son los elementos encargados de la distribución del agua en la parcela, necesitando de una cierta presión para que salga a través de los orificios o boquillas de los mismos.

16.2.1. Elementos de una Instalación de Riego por Aspersión

Una instalación de riego por aspersión consta esencialmente de los siguientes elementos:

- ▼ Grupo motobomba encargado de suministrar el agua a una cierta presión.
- ▼ Red de distribución, formada por el conjunto de tuberías que conducen el agua a presión. Entre ellas, hay que distinguir: las tuberías principales que distribuyen el agua por la finca, y las tuberías secundarias o alas regadoras que se derivan de las anteriores y conducen el agua hasta los aspersores.
- ▼ Dispositivos de aspersión.
- ▼ Accesorios o conjunto de piezas especiales que se utilizan para el adecuado funcionamiento del riego, tales como porta-aspersores, codos, tes, reducciones, válvulas de paso, válvulas de retención, etc. Los hidrantes son las bocas de riego de la tubería principal de donde parten los ramales secundarios.

16.2.2. Dispositivos de Aspersión

16.2.2.1. Aspersores giratorios

Los aspersores giratorios son aparatos provistos de una o dos boquillas o toberas que giran alrededor de su eje impulsados por la presión del agua, lo que les permite regar una superficie circular, cuyo radio depende de la presión del agua y del tipo del aspersor.

Los aspersores se pueden clasificar atendiendo a varios criterios:

1) Según la presión de funcionamiento:

- **De baja presión:** Trabajan a presiones que varían de 0,3 a 1,5 kg por cm^2 y cubren un círculo de riego de 2 a 12 metros.

- **De media presión:** Funcionan a presiones comprendidas entre 1,5 a 4.5 kg por cm^2 y riegan un círculo de 12 a 25 metros de radio. Son los más utilizados en agricultura, sobre todo en cultivos extensivos.

- **De alta presión:** Con presiones superiores a 4,5 kg por cm^2 , alcanzando un radio de hasta 50 ó 60 metros. Se aplican en grandes parcelas y cultivos poco sensibles al impacto de las gotas de lluvia gruesas.

2) Según la velocidad del giro:

- **Giro lento:** Dan un número de vueltas por minuto comprendido entre 1/4 y 3. Pueden tener una o varias toberas y, generalmente, son de baja o media presión. El giro se consigue con un brazo oscilante.

- **Giro rápido:** Dan más de 6 vueltas por minuto. El giro se consigue generalmente mediante la rección del agua en la tobera inclinada.

3) Según el número de toberas:

- **De una sola tobera.**

- **De dos toberas.**

- **De más de dos toberas.**

4) Según el ángulo de las boquillas:

- **Ángulo normal:** El chorro del agua en su salida forma un ángulo con la horizontal comprendido entre 25° y 45°.

- **Ángulo bajo:** La inclinación del chorro es inferior a los 25°. Se utiliza en hortalizas y riego de frutales por debajo de las copas de los árboles.

16.2.3. Características de los Aspersores

Las características más importantes de los aspersores son las siguientes:

Caudal del aspersor

El caudal de un aspersor está intimamente relacionado con el diámetro de la boquilla (o de las boquillas) y con la presión de funcionamiento.

Los caudales más usuales de los aspersores varían desde 1.000 a 3.000 litros por hora.

Alcance del aspersor

El alcance del aspersor, que determina el radio del área mojada, depende del ángulo de inclinación de la boquilla y de la presión de funcionamiento.

El alcance práctico de un aspersor se obtiene haciendo medidas directas en el campo, dato que, normalmente, los fabricantes incluyen en los correspondientes catálogos.

Pulverización

El tamaño de las gotas de agua que arroja el aspersor es un factor importante en el riego, ya que si no es el adecuado puede afectar a las plantas, al suelo y a la eficiencia y uniformidad del riego.

En general, el grado de pulverización varía con las siguientes circunstancias:

- El tamaño de las gotas aumenta a medida que aumenta la separación del pie del aspersor.
- A cualquier distancia del aspersor, para un determinado diámetro de boquilla, el tamaño de las gotas es mayor cuando la presión de funcionamiento es menor.

Pluviometría o precipitación del aspersor

La pluviometría o precipitación de un aspersor expresa la intensidad del riego por aspersión, y se mide por la altura de la capa de agua recibida por la tierra durante un tiempo determinado. Generalmente se expresa en milímetros por hora.

Marco de los aspersores

Se llama marco de los aspersores a la distancia que existe, por un lado, entre dos líneas contiguas de aspersores y, por otro, entre dos aspersores contiguos en la misma línea. El marco depende de varios factores: tipo del aspersor, caudal, presión, tipo de cultivo, viento dominante, etc.

▼ Los aspersores se pueden disponer de formas distintas:

- Disposición en cuadrado.
- Disposición en triángulo.

16.2.4. Elección del Aspersor

La elección del aspersor debe realizarse teniendo en cuenta las condiciones propias del aspersor y las propias del medio: suelo, clima, cultivo, etc.

16.2.4.1. Características propias del aspersor

- Diámetro de las boquillas.
- Presión de funcionamiento.
- Alcance del aspersor.

16.2.4.2. Suelo

Los suelos con pendientes fuertes favorecen la escorrentía, lo que hace aconsejable el uso de aspersores de menor pluviometría que si se tratase de terreno llano. La textura del suelo determinará el régimen de pluviometría (mayor en suelos arenosos y menor en arcillosos)

16.2.4.3. Clima

▼ Viento. Los vientos fuertes obligan a adoptar aspersores de pequeño alcance y baja o media presión, para que no haya excesiva pulverización y se produzca una lluvia uniforme de riego.

▼ Temperatura. Con temperaturas altas conviene utilizar aspersores de baja o media presión y boquillas de mayor diámetro, con el fin de lograr un grado de pulverización bajo y menores pérdidas por evaporación.

▼ Humedad. En las zonas húmedas podrán emplearse aspersores de mayor presión y alcance que en las zonas secas.

16.2.4.4. Calidad de las aguas

▼ Aguas corrosivas. Deben utilizarse toberas de acero inoxidable.

▼ Aguas sucias. Los aspersores deben llevar boquillas de gran diámetro, que eviten su obturación.

16.2.4.5. Cultivo

▼ Frutales. Se pueden utilizar, según las circunstancias, aspersores colocados sobre porta-aspersores altos o aspersores de ángulo bajo.

▼ Cultivos hortícolas. No conviene utilizar aspersores de gran radio y poca pulverización, para evitar daños en la floración.

▼ Cultivos de porte alto (maíz, girasol, caña de azúcar, etc.). Es aconsejable el riego con pluviometrías medias o elevadas, para disminuir la evaporación.

▼ Praderas. Se utilizan aspersores de gran alcance, con el fin de disminuir costes.

16.2.5. Tuberías

Por su movilidad las tuberías se pueden clasificar en portátiles y fijas.

16.2.5.1. Tuberías portátiles

Las tuberías portátiles han de ser de materiales ligeros, generalmente de aluminio o de acero galvanizado. También se utilizan materiales plásticos: Policloruro de vinilo (PVC) y polietileno.

Tuberías metálicas

Las tuberías metálicas portátiles están constituidas por elementos de 6, 9 y 12 metros de longitud. El empalme de unos elementos con otros debe cumplir las siguientes condiciones:

- Hacerse con rapidez.
- Evitar cualquier fuga de agua.
- Permitir una cierta holgura para que los elementos consecutivos formen un cierto ángulo y se amolden mejor al terreno.

Tubos de policloruro de vinilo (PVC)

Se constituyen tubos de 5 a 9 metros de longitud. Sus principales características son:

- Gran ligereza.
- Baja rugosidad.
- Son frágiles.
- Facilidad de montaje y bajo coste de juntas.
- Fácil reparación.

Tubos de polietileno

Los tubos de polietileno son flexibles, lo que permite, para pequeños diámetros, manejarlos en rollos de gran longitud: de 50 a 200 metros.

Sus características principales son:

- Gran flexibilidad.
- Facilidad de montaje.
- Bajo número de juntas.
- Gran resistencia a las cargas, excepto al aplastamiento y a la dobléz.
- Precio superior al PVC.

16.2.5.2. Tuberías fijas

Los materiales empleados en su fabricación pueden ser: acero, fundición, fibrocemento, hormigón y plástico. Los diámetros a nivel de parcela, por lo general, no superan los 200 ó 300 milímetros.

16.2.5.3. Disposición de tuberías

Las disposiciones elementales más frecuentes son:

- Disposición unilateral. La tubería principal se sitúa en la linde de la parcela, mientras que los ramales laterales se colocan a un solo lado de dicho ramal. Cuando los ramales laterales son móviles, se van desplazando a lo largo de la tubería principal a medida que se va realizando el riego.

- Disposición bilateral. La tubería principal se sitúa atravesando la parcela por su centro, mientras que los ramales laterales se colocan en ambos lados de aquella. Esta disposición se suele utilizar en parcelas anchas.

16.2.6. Ramales laterales

Los ramales laterales son las conducciones que transportan el agua a presión desde las tuberías principales hasta los aspersores.

Dentro de lo posible, se deben seguir las siguientes reglas generales:

Los ramales laterales se sitúan paralelos a una de las lindes.

Para mantener uniformidad de riego razonable, la diferencia de presión entre los aspersores de un mismo ramal no debe superar el 20% de la presión media de funcionamiento.

Es conveniente que los ramales laterales se sitúen en dirección perpendicular al viento dominante.

Para facilitar las labores de cultivo y el traslado de los ramales, éstos se deben ubicar en la dirección de las hileras de plantas.

16.2.7. Cobertura del Riego

Se llama riego de cobertura total cuando se dispone del número de ramales laterales suficientes, con sus correspondientes aspersores, para regar toda la parcela sin precisar ningún traslado de material. En caso contrario se llama de cobertura parcial y es necesario transportar todo o parte del equipo de un lugar a otro en cada postura de riego.

El riego de cobertura total ofrece las siguientes modalidades:

- ▼ Tubería totalmente enterrada. La tubería se entierra a una profundidad que oscila de 0'60 a 1 metro. Es la modalidad más cara, pero la más cómoda.
- ▼ Tubería superficial. La tubería se coloca después de sembrado o trasplantado el cultivo y se retira un poco antes de la recolección.
- ▼ Tubería parcialmente enterrada. Esta modalidad es intermedia entre las dos anteriores. Por lo general, se entierran los ramales de alimentación, que suelen ser de fibrocemento, con unión "gibault".

16.2.8. Ventajas e Inconvenientes del Riego por Aspersión

Con respecto a los otros sistemas de riego, el riego por aspersión ofrece las siguientes ventajas e inconvenientes:

Ventajas:

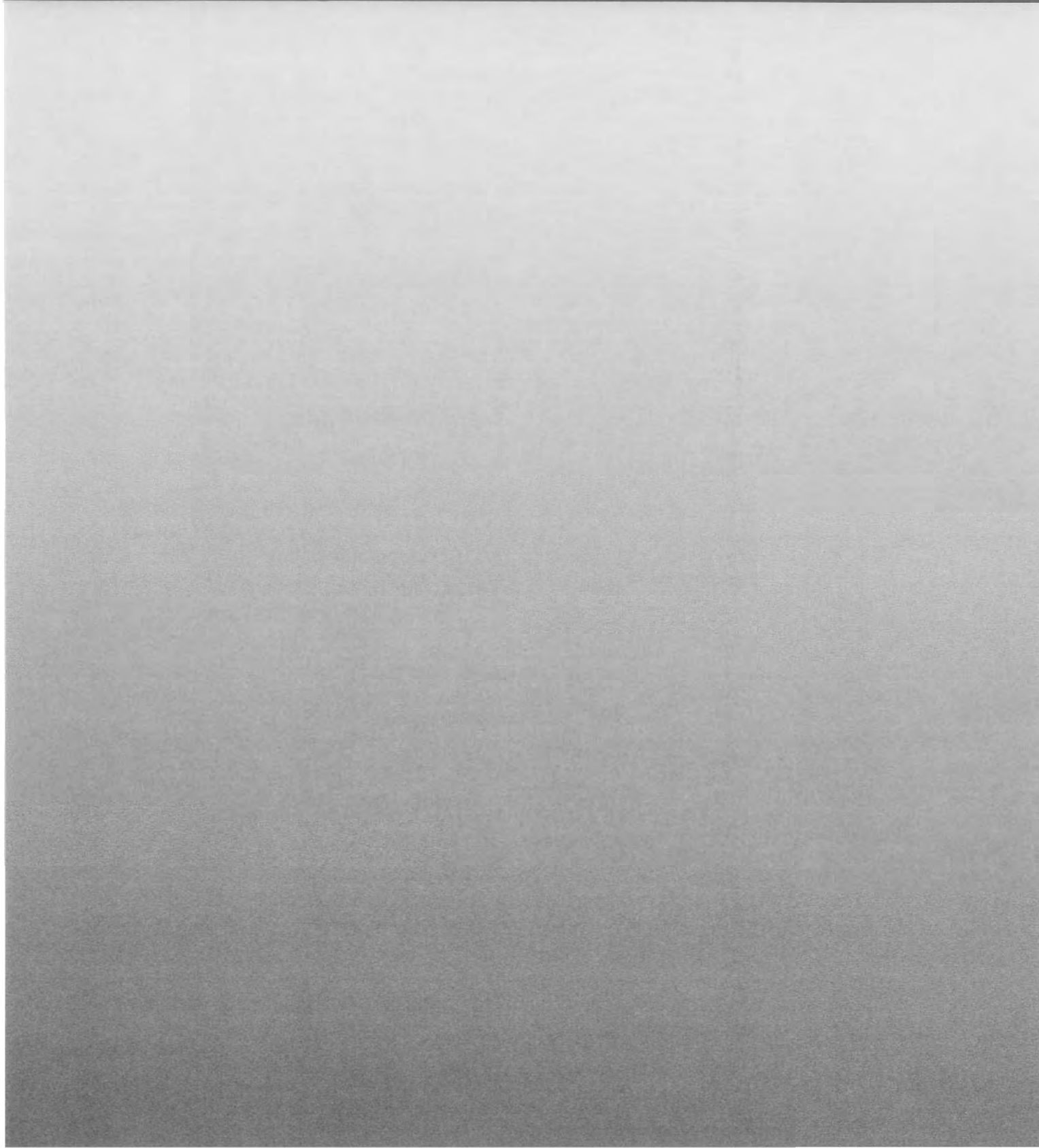
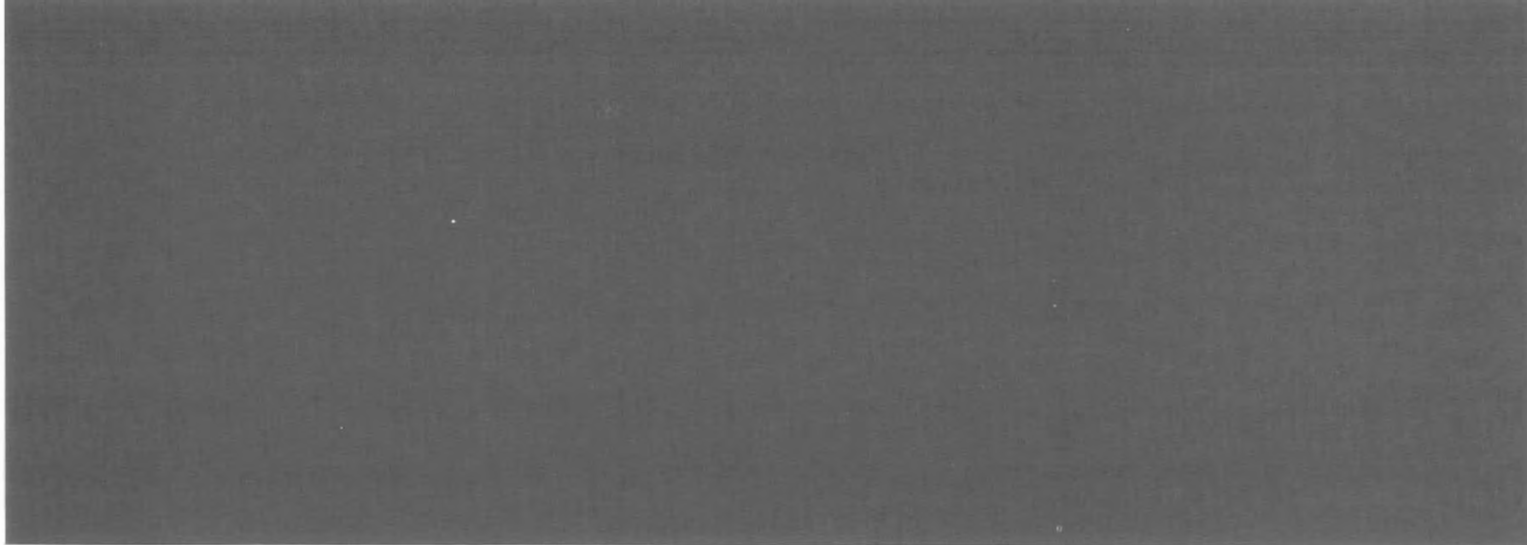
- Se adapta a topografías muy variadas, con terrenos ondulados de pendientes uniformes o planos.
- No es necesaria la nivelación de los suelos, con lo cual se evita pérdida de fertilidad de los mismos.
- Se aprovecha la totalidad del terreno, sin perder para el riego la superficie que ocuparían las acequias y los taludes de los bancales.
- Se aprovecha mejor el agua de riego. La eficiencia del riego por aspersión es superior a la del riego por gravedad.
- Puede utilizarse en suelos de cualquier naturaleza. En suelos muy permeables, que exigen riegos frecuentes y poco copiosos, no se puede recomendar otro sistema de riego que no sea el de aspersión, que es la única forma de conseguir un reparto uniforme del agua en riegos poco copiosos.

- Hay una mayor posibilidad de mecanizar los cultivos, ya que se eliminan los obstáculos propios del riego de superficie.
- Se reduce la pérdida de elementos fertilizantes por lixiviación.
- El riego por aspersión se puede utilizar de un modo eficaz en la lucha contra las heladas.
- Se puede utilizar también para realizar fertilizaciones y tratamientos fitosanitarios.

Inconvenientes:

- Elevado coste de la instalación. Sin embargo, este coste se compensa con la supresión de otros gastos (nivelación, construcción de acequias, etc.).
- En algunos cultivos, el empleo de riego por aspersión aumenta la incidencia de enfermedades.
- Cuando se riega en época de floración puede dificultarse la polinización.

Bibliografía



BIBLIOGRAFÍA

- D. JUAN LÓPEZ MARTOS. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Apuntes Monitores Agroambientales. 1996.
- D. JUAN COROMINAS. Servicio de Infraestructuras Agrarias.
- D. J. A. MEDINA SAN JUAN. Riego por goteo. Edit. Mundi-prensa. 1988.
- D. FRANCISCO ORTÍZ BERROCAL. C.I.F.A. Palma del Río. (Córdoba). Apuntes Incorporación Agraria.
- ÁVILA R. Guiones y apuntes, sobre riego localizado. Granada. 1993
- STEVE GRAU, J. Apuntes de riego localizado. MAPA. 1986.
- CONESA F.V. VICENTE. Riegos a presión. Media y alta frecuencia. Ed. Prensa XXI. S.A.
- FAO 24. Las necesidades de agua de los cultivos.
- FAO 29. Calidad del agua de riego.
- FERRER TALÓN P. Apuntes de riego localizado. MAPA. 1990.
- TABUENCA MARTÍNEZ, J.M. Apuntes de riego localizado. Diputación General de Aragón. I.T. 24/1986.
- ÁVILA R. Guiones y apuntes, sobre riego localizado. Granada. 1993. MARCO
- ARBOLÍ, I. Membranas flexibles para impermeabilizar embalses. Horticultura 102. 1995.
- D. JOSÉ LUIS FUENTES YAGÜE. Teoría y práctica del Riego. MAPA.
- Riegos Humet.
- D. FRANCISCO ORTÍZ BERROCAL. C.I.F.A. Palma del Río. Apuntes de Incorporación Agraria.
- Bombas Ideal. Catálogo-C8-
- Curso elemental de riego. J. L. Fuentes Yagüe y J. Cruz Roche. Manuales de Capacitación. -MAPA
- El riego por goteo. J. M. Hernández Abreu y J. Rodrigo López. Hojas Divulgadoras. -MAPA
- Instalación de riego por goteo. J. L. Fuentes Yagüe. Hojas Divulgadoras. -MAPA
- Instalaciones de bombeo para riego y otros usos. P. Gómez Pompa. Edit. Agrícola Española, S.A.
- Le captage de eaux souterraines. EUROLLES, Editeur. Paris.
- Limpieza y mantenimiento de las inst. de riego por goteo. J. Reche. Hojas Divulgadoras. - MAPA
- Selección de bombas. Sistemas y aplicación. R. H. Warring. Editorial Labor. Nuevos M. T. nº 27
- Vademécum de materiales de riego. J. L. Aguirre Larrauri y otros. Edipublic. S.L.

