

LOS RIEGOS POR ASPERSION SUS VENTAJAS, INCONVENIENTES Y POSIBLE MEJORA DE LOS SISTEMAS ACTUALES

Por JOSE M.^a PALA CATARINEU,
Ingeniero de Caminos.

Se trata de un estudio detallado y muy completo sobre el tema, tanto desde el punto de vista teórico cuanto de su aplicación práctica, en la enumeración de sus grandes ventajas sobre el sistema clásico y con interesantes datos sobre la extensión de su empleo en distintos países.

Fuertemente impresionado por la notable demora de la puesta en riego de una gran zona regable, con respecto a las obras principales y fundamentales de la misma, he reflexionado sobre el asunto, viniendo en deducción que hay que abandonar en muchos casos los métodos clásicos de riego de los campos, sustituyéndolos por el modernismo sistema de los riegos por aspersión, impropiaamente llamado lluvia artificial. En el presente artículo hacemos una síntesis de los conocimientos y aparatos actuales, a la vez que sugerimos unos perfeccionamientos de los mismos, que los hagan más viables y económicos. Nuestra finalidad es ser útiles a los agricultores y a cuantos se interesan por estos problemas, a la vez que dedico un recuerdo a la memoria de mi inolvidable hermano Ricardo, Ingeniero Agrónomo entusiasta de su profesión.

Salvo en la época de precipitaciones atmosféricas, el agua que las plantas necesitan para su crecimiento y desarrollo la toman principalmente del suelo vegetal. En éste, el líquido elemento está sometido a dos fuerzas antagónicas: la de la gravedad, que tiende a desplazarla de los espacios intersticiales hacia las partes bajas del subsuelo, y la adherencia a las partículas y la capilaridad que la retienen en el terreno, donde se almacena a disposición de las plantas. Estas la absorben, ya cargada de sustancias nutritivas, a través de las raíces, por endósmosis, y tiene un movimiento ascensional a lo largo de los conductos capilares, hasta las hojas, a favor de las fuerzas de adherencia en aquéllas y de la traspiración de éstas, principalmente. Por lo tanto, no debe bajar de ciertos límites la cantidad de agua contenida en la zona de máxima actividad, que es el 60 por 100 de la profundidad de las raíces (esta última es de 1,20 m. en la alfalfa, de 0,90 m. en el trébol; para los otros cultivos, en general, puede ponerse de 0,50 m.) del suelo vegetal, porque las acciones moleculares son entonces muy grandes y la planta no la puede absorber; tampoco puede pasar el agua de cierto porcentaje, por que los conductos intersticiales estarían anegados y

las raíces respirarían mal, además del arrastre de las sustancias nutritivas hacia el subsuelo. La experiencia aconseja que estos límites son el 75 por 100 del volumen de huecos como máximo y el 25 por 100 de aquél como mínimo. Cuando se llega a éste, hay que suplir el déficit con riegos. Con éstos se aseguran las cosechas, y se más, que duplica la productividad de los suelos; se ha observado que, dentro de ciertos límites, y en igualdad de circunstancias, las cosechas están en la misma proporción que las precipitaciones acuosas.

Sabido es que los procedimientos de riego, practicados desde tiempo inmemorial, o riegos de pie, son:

- Por submersión, inundación, manta, capa de agua, o por inmersión (hasta el 2 por 100 de pendiente, como máximo, y con un mínimo del 2 por 1.000 con lámina de agua de 15 a 30 cm.).
- Por desbordamiento, derramamiento o escurrimiento, con o sin regueros de distribución y desagüe, cuando la pendiente es mayor del 2 por 100 (es aplicable al caso la fórmula de Crevat, análoga a la de Bazin para los canales, $v = 20 \times h \times \sqrt{h}$) (actualmente, en Norteamérica, en lugar de abrir boquetes en los brazos y acequias, se emplean para el derramamiento cortos tubos, de un metro de longitud aproximada, a guisa de sifones).
- Por caballetes o doble arriate, que es una variedad del que se acaba de exponer.
- Por infiltración, donde se conduce el agua por numerosos surcos, a través de cuyas paredes y fondo se filtra (muy empleado en la depuración de aguas residuales).
- Variedad del procedimiento anterior es el de tubos porosos enterrados, donde éstos traspiran el agua que precisan las raíces de las plantas situadas en las inmediaciones. Este último método se viene aplicando desde hace algunos años en el extranjero. Es lógico que, según el agua disponible, el terreno (composición y topografía) y la planta, se emplea uno u otro de los procedimientos enumerados, que en general, salvo el c'), consumen grandes cantidades de agua (en especial, los b; b' y c).

RIEGOS POR ASPERSIÓN.

En la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de agosto de 1950, publicábamos el artículo "Un aspecto interesante de las obras de puesta en riego", donde hacíamos una exposición general del nuevo sistema de riegos por aspersión, llamados indebidamente por algunos "lluvia artificial", al imitar a la Naturaleza vertiendo el agua sobre las plantas en forma de finas gotas; empleado en el riego de jardines, desde tiempo

unas cien mil hectáreas por aspersión, para unas cuatro mil instalaciones; hay institutos dedicados al estudio y perfeccionamiento del método, y Congresos para cambio de impresiones y de ideas sobre tan interesantes materias. Un año, en Norteamérica, se pusieron 20 000 Ha. en riego por aspersión; el costo de las instalaciones se amortizó por el incremento de producción en dos años. Tanto los italianos como en Alemania (donde la mayor parte de los nuevos regadíos se ejecutan por aspersión) y Estados Unidos,



Estación experimental de El Pardo (Madrid), de la casa Bauer.

inmemorial; y en los filtros percoladores en la depuración de aguas residuales. También se llama "riego mecánico" o de "agua a presión".

Abogábamos por el mencionado método irrigatorio, considerándolo como el de mayor porvenir, y único a utilizar en el transcurso de los años.

Nuestras palabras han resultado proféticas. De entonces acá el sistema, que comenzó en 1914 con muy modestos auspicios, ha recibido notable impulso en Italia, Alemania, Estados Unidos e Israel. A este respecto, el ilustre Ingeniero hidráulico agrícola alemán, Sr. Ball, dice: "La experiencia adquirida ha rebasado en mucho las esperanzas que se tenían, aunque algunos fracasos han sido inevitables por falta de conocimiento de las cosas". El Ingeniero francés M. Poirée lo preconiza como el método de riego del porvenir. En Francia hay un millar de explotaciones, con un total de 15 000 Ha. En Italia ya se riegan

hay multitud de variedades y de aparatos; llamados éstos regadores, irrigadores, aspersores o rociadores. En España se ha dado bastante impulso al riego por aspersión; ya hay granjas experimentales que lo estudian intensivamente (como la de la casa Montalbán-Bauer, en el Pardo), asociaciones dedicadas al mismo fin, y varias casas de maquinaria que se dedican a su instalación; después de asistir a unas demostraciones prácticas, lo hemos oído ponderar con entusiasmo a varios labradores importantes de Cataluña y de Aragón; en fin, el número de instalaciones se multiplica de día en día. Se han escrito libros y folletos sobre tan interesante tema. Bueno será que volvámos sobre el mismo y lo ampliemos en la cuantía necesaria para redactar proyectos, así como que expongamos nuestra opinión sobre posibles mejoras de este sistema de riegos, tan elástico, que se puede aplicar a toda suerte de instalaciones.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS RIEGOS POR ASPERSIÓN.

Las ventajas de los riegos por aspersión sobre los métodos clásicos de irrigación mencionados anteriormente, son:

a) No precisa efectuar los costosos y lentos trabajos de nivelación y regularización de los terrenos, con sus graves inconvenientes de reducción de la capa vegetal (y de la fertilidad de las tierras) y de la obtención de estrechas parcelas, a veces impropias para el cultivo. Tampoco debe olvidarse que en los riegos por el método antiguo hay una erosión continua, más o menos intensa, que obliga a trabajar con la arrobadera con bastante frecuencia, para no perder la nivelación de los campos. En cambio, en los riegos por aspersión, las finas gotas de agua (si son adecuadas a la naturaleza del terreno y a su pendiente) no producen erosiones horizontales ni verticales, porque caen en las mismas condiciones que las precipitaciones atmosféricas.

Al no precisarse una completa preparación de la tierra, ni brazales ni azarbes (lo que también constituye una importante economía), se puede cultivar el regadío como el seco; condición muy importante y de gran trascendencia económica, porque facilita la mecanización de la tierra con gastos reducidos. Tampoco hay pérdidas de superficies cultivables por márgenes, caballones, acequias y azarbes, que en los sistemas corrientes de riego oscilan del 5 al 15 por 100. La puesta en riego es rápida y el rendimiento de trabajos y desembolsos casi inmediato. Esto es de suma importancia financiera y social, porque permitirá reembolsarse, en un plazo relativamente corto, de los cuantiosísimos gastos que suponen las obras de riego y las de ejecución de las instalaciones de este sistema de irrigación; la puesta en riego, con los métodos clásicos, en las grandes zonas, necesita períodos de cincuenta a cien años (Canal de Urgel, Canal de Aragón y Cataluña, Canal Imperial de Aragón, etc.), durante los cuales no son rentables las costosísimas obras de toma y conducción general.

b) Aprovechamiento del terreno accidentado. En Calella y en San Pol de Mar (costa catalana), hemos visto regar por aspersión terrenos muy inclinados; basta para ello, según veremos más adelante, reducir la intensidad de la precipitación artificial con arreglo a la naturaleza del terreno y a su pendiente. Esto es muy importante, pues permite aprovechar al máximo la superficie de las zonas regables, llegando a igualar, casi, el área dominada con la efectivamente regada.

c) Es el único sistema que se puede emplear en terrenos muy permeables, porque en el riego ordinario la velocidad de infiltración del agua es demasiado grande para que pueda ser aprovechada por las plantas.

d) Se evita el excesivo lavado del suelo (y la con-

siguiente pérdida de elementos nutritivos y de agua), y los depósitos salitrosos, que restan fertilidad a la tierra y alarman al agricultor, retrasando también el rendimiento de la puesta en riego. El establecimiento de desagües, azarbes y brazales es caro de ejecución y conservación, además del estorbo que suponen para el laboreo agrícola, ya expuesto en el apartado a).

e) Este riego, al imitar la acción de la lluvia, es completo, con mejora del aprovechamiento del agua. Se refrescan y lavan las hojas (dejando libres los estomas para una mejor transpiración) y tallos, se airea el agua, con las ventajas de movilizar los principios fertilizantes del suelo (y mejora de las condiciones del líquido, como desferrización, lo que permitirá emplear aguas ácidas, o residuales o de pozo — o de otras procedencias — de condiciones deficientes), así como se facilita la respiración de las raíces, creando un ambiente favorable para el desarrollo de la flora bacteriológica. Como secuela de todo ello, se aumenta la cantidad (alrededor del 20 por 100) y la calidad de los productos (la aceituna incrementa su grasa, la remolacha aumenta su porcentaje de azúcar, y en la uva ocurre esto último y mejora su buquet).

f) Por la misma circunstancia de imitar la lluvia natural, no se encharca el terreno ni se forman costras ni grietas, por la ejecución de riegos reiterados de pequeño caudal, facilitando las labores y operaciones de cultivo, de las cuales constituye una preparación.

El riego corriente enfría demasiado, en ocasiones, el terreno; no así el riego por aspersión, por imitar a la lluvia natural.

g) Ahorro de energía (respecto a los otros sistemas, cuando hay elevación) y de mano de obra (de un 50 a un 70 por 100 respecto a los métodos clásicos de riego), al hacer posible cierto automatismo en el riego, y por la rapidez con que se montan las tuberías secundarias, o móviles, así como los aspersores. Ampliando el último concepto a una importante zona regable, cuando llegue el turno de riego a los diferentes propietarios, pueden regar los guardas-regadores del Sindicato, con gran comodidad y economía de mano de obra y de caudal líquido. Esto quizá supone el último paso para la industrialización y mecanización de la agricultura.

h) Ahorro de agua de riego. Además de por la causa expuesta anteriormente, el gasto líquido disminuye por las razones de los apartados d) y e) y por el funcionamiento mismo del riego por aspersión. La economía es importante, llegando sólo a emplearse del 20 al 60 por 100 del caudal del riego por derramamiento, según el cultivo y el suelo. Esta ventaja constituye un factor importante en países secos, como España, donde no se dispone de grandes caudales, y permitirá ampliar considerablemente las zonas regables en explotación y las que hay en proyecto. A tal ahorro de agua contribuye considerablemente el que su conducción se hace por tuberías, que no tienen las pérdidas de acequias y brazales, por evaporación

y filtración. Aquí los caudales a utilizar llegan a pequeños módulos mínimos, cuando en los métodos clásicos de riego son de 25 litros por segundo, que en algunos casos de tierras bien preparadas pueden bajar a 15 litros por segundo.

i) Oportunidad en la aplicación de los riegos y fácil regularización de la intensidad de los mismos, que complementan el agua de lluvia y los riegos de pie, permitiendo adaptarse a las condiciones del mercado, haciendo ventas remuneradoras y revalorizando los productos agrícolas, incluso por adelantamiento de las cosechas, con el sistema de riegos por aspersión. Este también permite escoger, al labrador, los cultivos más rentables. Según el Profesor Dr. Gerbach, el riego no debe efectuarse durante la floración y el desarrollo activo de los frutos; pero es necesario cuando están las plantas en la mayor exuberancia, como en los cereales antes y después de la floración y de la granazón (períodos críticos de Brower).

j) Aunque implícitamente está contenido en lo anteriormente expuesto, otra ventaja la constituye la fácil acomodación de la intensidad de riego a los períodos de crecimiento de las plantas, pudiéndose regular la cantidad de agua distribuida con facilidad. Permite regar de noche y sin vigilancia asidua. Los riegos se efectúan bastante rápidamente.

k) Simplifica la aplicación de fertilizantes y constituye la solución perfecta de suministro de abonos nitrogenados y del *purin*, ya que aquéllos se pueden aportar disueltos en el agua, sin riesgo de que se pierdan hacia las capas inferiores del terreno. Así, la casa Mannesmann y la Montalbán (Bauer) tienen dispositivos (especie de calderín, en cuyo interior se produce la mezcla por una rueda de paletas que gira a gran velocidad) para disolver los abonos y distribuirlos con la misma agua de riego, que se une a la tubería móvil por acoplamientos rápidos. Con esto se halla relacionada la "alimentación por las hojas", o sea la pulverización de abonos solubles sobre el follaje de plantas herbáceas y árboles frutales, para darles la vitalidad adicional que necesitan durante la época del desarrollo de los frutos; se trata de un tema agrícola que ha dado lugar a controversias en los últimos años. En el abonado por este sistema, se produce un ahorro de producto del 20 al 25 por 100 y del 50 por 100 de los gastos de distribución.

l) Mejor suministro de insecticidas y anticriptogámicos, disueltos en el agua de riego, dificultando e impidiendo, también, el desarrollo de parásitos animales, por extenderse el agua en finas gotas con el producto disuelto sobre las plantas a tratar; hay una economía de mano de obra sobre la necesaria para el empleo de aparatos mecánicos pulverizadores de líquidos insecticidas. Al mismo fin contribuye la disminución de cajeros de acequias y brazales, que propagan por la misma agua de riego las malas hierbas.

II) Terminamos la exposición de la amplia gama

de aplicaciones de los riegos por aspersión, destacando la utilización de los mismos contra las heladas, los calores sofocantes y los efectos de los vientos. Las primeras, que tantos perjuicios han ocasionado en estos inviernos crudos en los cultivos arbóreos, se combaten suministrando una precipitación artificial de tan sólo dos milímetros por hora, a causa del considerable calor de fusión del hielo. (Ya sabemos que al mismo fin contribuye una adecuada fertilización potásica, que aumenta la acumulación de azúcares en la planta, con la consiguiente resistencia a las heladas, como se ha comprobado en los cultivos de claveles en la costa catalana La Maresma.) La casa Bauer ha experimentado con éxito en dos estaciones antiheladas, situadas en Játiva y en Murcia, y donde se comienza a regar cuando la temperatura baja a cero grados; no cesando hasta alcanzar dos grados sobre cero; los árboles se cubrieron de hielo; se salvaron las plantas, y las flores y frutos han aumentado en una mitad.

m) Tampoco son despreciables los agradables efectos estéticos que se pueden obtener con los riegos por aspersión, ya de por sí, o combinados con una luminotecnia adecuada, como hemos podido observar, entre otros sitios, en la explotación de floricultura Kanda, de Barcelona, y en el funcionamiento de los grandes aspersores, que son muy espectaculares. Así pueden hermanarse perfectamente lo utilitario con lo artístico de una instalación, lo cual puede ser muy conveniente en parques y jardines.

n) Es una ventaja la elasticidad del sistema, en casos de emergencia, por el aumento de la jornada de trabajo, por la acumulación de aspersores en una zona determinada y porque éstos permiten variaciones en la presión de trabajo en $\pm$ el 20 por 100.

o) Una instalación de esta clase puede ser un apagafuegos en caso de incendio.

p) Finalmente, otra ventaja apreciable es la duración casi ilimitada de los aparatos aspersores, si se preservan de los golpes y se cuida de lubricar sus partes móviles.

Este sistema de irrigación también tiene sus detractores y presenta algunos reconocidos inconvenientes, aunque, en general, de poca cuantía. Estos son:

1.º La desigual distribución de las precipitaciones líquidas, y más en los espacios no dominados por los aspersores, o donde se solapan aquéllos. En los primeros no cae agua alguna, y si reciben el líquido elemento es por filtración de las zonas contiguas; más húmedas; en las zonas de solape hay más humedad, aunque, también por filtración se propaga a los espacios adyacentes, como hemos podido comprobar en prados regados por este sistema. En ninguno de los casos tiene importancia la objeción más que en el de los terrenos muy impermeables, y puede paliarse la dificultad con una buena distribución de los aspersores (como se demostrará más adelante), o po-

niendo árboles en los triángulos curvilíneos que no reciben la acción directa del agua.

2.º La red de tuberías a instalar en la zona regable es cara; aunque muchas de ellas son secundarias o móviles; y se quitan y ponen con facilidad, requieren una considerable mano de obra de cierta especialización; basta ver algunas instalaciones de riegos por aspersión, con los campos cruzados por tuberías, para comprender *a priori* que tales sistemas no pueden ser muy prácticos, ni muy económicos, porque, además, con las tuberías de quita y pon se pisan los cultivos demasiado. Se reduce el inconveniente aumentando el alcance de los aspersores, regando sólo el semicírculo de un lado de la tubería móvil y disponiendo las tuberías secundarias con juntas de acoplamiento rápido y construyéndolas con material ligero (duraluminio, chapa de acero, plástico, etc.). Si se observa la colocación y separación de los aspersores y tuberías, se verá que puede hacerse con mano de obra de peón, que aprende en seguida dichas sencillas maniobras; de modo que no hay tal especialización, como hemos podido observar en la práctica de aplicación del procedimiento, que funciona a satisfacción de los propietarios de las fincas que lo han adoptado. Además, si por cualquier circunstancia se abandonase una instalación de irrigación de esta clase, la tubería siempre vale dinero; en cambio, en el mismo caso, los gastos de nivelación no son recuperables, y no son menores que los gastos de primer establecimiento de un sistema de riegos por aspersión. Al contrario, en una instalación reciente éstos representan el 70 por 100 del valor de aquéllos.

3.º Hay en todos los riegos por aspersión consumo de energía. Esto constituye un inconveniente porque encarece el riego y complica la instalación, respecto a los sistemas corrientes de riego, cuando las regueras o acequias dominan la zona regable. La cosa sube de punto en circunstancias, como la de hace unos meses, en que la escasez de carburantes puede llegar a dificultar, y aun a imposibilitar, la práctica de los riegos. En el caso del empleo de energía eléctrica no hay que olvidar el encarecimiento y la penuria creciente de ésta.

4.º Algunos cultivadores hacen la objeción de que las gotas de agua, al extenderse sobre las hojas y flores, producen el efecto de pequeñas lentes que concentran los rayos de sol, produciendo quemaduras. Tal cosa es inexacta, según experimentos efectuados en Alemania, y porque entonces sólo se produce un aumento de las pérdidas por evaporación, que se evitarán no regando nunca a pleno sol.

5.º La acción del viento es sumamente desfavorable, alterando y haciendo muy irregular la distribución de las precipitaciones líquidas; sobre todo con vientos fuertes, en que se hace imposible el riego, por la gran dispersión de las gotas. En tiempo de calma, dicha distribución sobre el terreno, suponiendo acumulada toda el agua caída, toma la forma de una

especie de casquete esférico en los aspersores rotativos de gran alcance y de un cono deprimido en los de corto alcance; con vientos de tempestad, en los primeros, la distribución de las alturas de agua acumuladas toma la forma de un cono curvo, con las generatrices cóncavas hacia arriba, y en los segundos, el cono curvo se deprime más y se hace oblicuo; en ambos casos, a la superficie que ha de recibir la proyección líquida sólo le llega el 80 y el 50 por 100, respectivamente, del caudal que cae en total. (Los vientos tempestuosos también dificultan la ejecución de los sistemas clásicos de riego y disminuyen su eficacia al evaporar rápidamente la superficie mojada de los campos.) Como remedios tenemos los de emplear aspersores a moderada presión (para que no pulvericen el agua demasiado), reducción de la separación existente entre aquéllos, empleo de boquillas o toberas de los mayores diámetros; o regando de noche, porque, generalmente, la circulación atmosférica es menor que durante el día. Si el riego por aspersión se aplica en grandes zonas, ejecutándolo los guardas o regadores del Sindicato de Riegos (como hemos expuesto en el apartado 9), el inconveniente es mínimo, porque las gotas dispersas por el viento siempre irán a parar a parcelas contiguas, dentro de la zona regable, habiéndose beneficiado con anterioridad de la dispersión del riego de la parcela precedente la que se está regando; así, pues, se establece una especie de compensación hidráulica. En el riego de jardines cercados no existen estos inconvenientes de los riegos por aspersión. Estos están muy indicados en parcelas pequeñas, que utilizan aguas elevadas de un pozo.

6.º Hay que tener cuidado con las aguas muy frías. Estas, en los sistemas de riegos de pie, se calientan al estar expuestas al sol en brazales y acequias.

Recapitulando lo que acaba de exponerse, realmente, las únicas objeciones de peso son las señaladas con los números 2, 3 y 5; pero ya veremos luego la forma de obviarlas y de superarlas.

RIEGO POR ASPERSIÓN ELEMENTAL.

El elemento fundamental del riego por aspersión es el chorro líquido inclinado, materializado por la manga de riego; ésta, manejada por un hábil regador, podría emplearse para el riego de fincas de considerable extensión, inclusive. Como la proyección líquida del chorro sobre el terreno es una superficie de reducida magnitud, hay que moverlo para que dicha proyección se convierta en una superficie apreciable; esto es lo que hacen los aparatos irrigadores, regadores, aspersores o rociadores.

Siendo h la carga efectiva en el orificio de salida, el chorro líquido tiene una velocidad media inicial

$$V_0 = C \sqrt{2gh}; \quad [a]$$

en pared delgada $c = 1$, para tubos adicionales cilíndricos $C = 0,82$, y cuando éstos son medianamente convergentes (caso ordinario) $c = 0,92$. El caudal se obtendrá por la fórmula:

$$Q = c' \cdot s \cdot V_0 \quad [b]$$

el coeficiente de gasto c' , con lanzas lisas y boquillas cilíndricas o troncoónicas, se aproxima a 0,98, salvo en los tubos adicionales muy convergentes o en pared delgada, en los cuales $c' = 0,62$. Es de importancia fundamental el grado de finura de la superficie interna; así los salientes interiores no sólo dificultan la salida, sino que dispersan también el chorro, siendo en especial perjudiciales las salidas anulares del chorro, ya que puede bajar el coeficiente de gasto a $c' = 0,627$.

El aspecto del chorro que emerge de un orificio en pared delgada se asemeja a una barra rígida y perfectamente pulida de vidrio. En cambio, el que sale de un tubo adicional aparece mate, de color turbio y finamente surcado en la superficie; estos surcos se desplazan como pequeñas ondulaciones, dando a la vena un brillo característico; además, el chorro, en su conjunto, experimenta variaciones periódicas hasta que, al alcanzar la velocidad límite inferior en el tubo adicional, a causa del descenso del nivel del líquido en el depósito, la vena toma el mismo aspecto de las que emergen en orificios practicados en pared delgada.

Cuando el agua sale por orificio horizontal en dirección ascendente, la sección de la vena surgente del chorro vertical va aumentando; a este fenómeno se le llama catarata de Newton. El agua llega a una altura h' que es, respecto a la carga disponible h (con $h < 50$ metros):

$$h' = 0,93 h - 0,007 h^2 \quad [c]$$

(según la media de los experimentos del profesor Cappa).

INTENSIDAD DEL RIEGO POR ASPERSIÓN.

El agua debe salir por los tubos adicionales, pitones, toberas, boquillas o lanzas de los aspersores, tan fina como una lluvia fuerte para que no estropee las plantas; aunque el agua demasiado pulverizada no es ventajosa, pues un viento muy ligero se la lleva y la evapora fácilmente. En general, cada riego por aspersión debe efectuarse de modo que salga tan sólo el agua que el terreno pueda absorber y que éste no sea erosionado. La densidad de aspersión, i , es la altura de precipitación que cae en una hora por metro cuadrado de superficie, y es el factor fundamental constituyente del éxito o del fracaso de una instalación de esta clase, que debe de estudiarse con mucho detenimiento. Según experiencias norteamericanas y alemanas, para que se cumplan las condiciones anterior-

es y no haya socavación, el valor máximo de i , en superficies horizontales, es de 50 mm. en terrenos sueltos y arenosos, 25,4 mm. en terrenos limosos y de 5 milímetros por hora en terrenos arcillosos. Si el terreno tiene una pendiente I y está cubierto de vegetación, los límites máximos de la densidad de precipitación pueden obtenerse de los anteriores por las fórmulas empíricas:

$$i = 50 - \frac{1}{2} 160 \cdot I^2 \quad [d]$$

en terrenos arenosos;

$$i = 25,4 - 1000 \cdot I^2 \quad [d']$$

en los limosos, e

$$i = 5 - 175 \cdot I^2 \quad [d'']$$

en los arcillosos. Si no hay vegetación, se tomará la mitad de los valores anteriores. Como dato práctico, y de un modo general, podemos decir con Ball que i varía de 6 a 18 mm. por hora, prolongándose la aspersión hasta conseguir una altura de precipitación de 10 a 40 mm. Recientemente se tiende a disminuir i y la altura total de cada precipitación artificial, haciendo más frecuentes y duraderos los riegos. Poiree hace oscilar i entre 2 y 20 mm./h. de un modo general; en los modernos aspersores no he visto pasar de 19 mm./h., cuando en tratados de hace treinta años, en los albores de los riegos por aspersión, se preconizaban intensidades máximas de precipitación de 90 milímetros/h. en terrenos arenosos y de 45 mm./h. en los arcillosos. Las excesivas intensidades de algunas instalaciones de riegos por aspersión han producido daños en las plantas y erosiones del terreno, que han desacreditado el sistema indebidamente. En el riego lento, i está comprendido entre 2 y 5 mm.; en el semiintenso, de 5 a 10, y en el rápido, entre 10 y 20 mm.

En las tierras muy fuertes, las intensas precipitaciones provocan la coagulación de las arcillas, con la consiguiente impermeabilización del terreno y encharcamientos que dan la falsa apariencia de que las tierras ya están regadas. Por eso, repetimos, no hay que dejarse seducir por el atractivo espejuelo de emplear fuertes intensidades para la ejecución rápida de los riegos.

A los efectos de lo consignado al principio de este apartado, tenemos el irrómetro Bauer para medir la humedad del suelo a diferentes profundidades. Para que el estudio sea completo; sobre todo en ciertas zonas y cultivos, también debe determinarse la evaporación, a fin de prever que no queden sin agua los cultivos. Esta clase de pérdida depende del aparato aspersor utilizado (diámetro de la boquilla y presión) y del clima imperante (humedad relativa, temperatura y viento). En igualdad de las demás circunstancias, la evaporación aumenta con la pulverización y ésta lo hace con la presión de trabajo y al disminuir el diá-

metro de la tobera. Aunque la evaporación sea grande, hay plantas que precisan la utilización de precipitaciones finas (el tabaco, por ejemplo). También hay un ábaco de Bauer para determinar las pérdidas por evaporación en función de la velocidad del viento, humedad relativa, temperatura, presión en la tobera y diámetro de ésta. (En condiciones normales estas pérdidas son del 8, 10, 12 por 100...). Si bien los datos anteriores son muy interesantes, lo más conveniente es tener en cuenta las intensidades de precipitación empleadas con éxito para diferentes cultivos en diversas tierras y zonas; precisamente hay casas que hacen acopio de estos datos para aplicarlos en los casos particulares afines.

CHORRO LÍQUIDO INCLINADO.

Sin entrar de lleno en la teoría del chorro líquido, recordemos que, si no se tiene en cuenta la resistencia del aire, aquél describirá una parábola con una altura máxima $a = v_0^2 \sin^2 \alpha : 2g$ y un alcance $A = V_0^2 \sin 2\alpha : g$, siendo V_0 la velocidad inicial a la salida de la tobera y α la inclinación de ésta con la horizontal (el máximo de A se obtiene para $\alpha = 45^\circ$, resul-

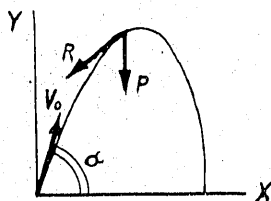


Fig. 1.^a — Chorro líquido inclinado.

tando A máximo $= V_0^2 : g = 2 \cdot h$, doble de la carga en metros de agua a la salida de la tobera); pero tal no es el caso real, porque se reducen notablemente dichas cantidades a causa de la resistencia del aire. Esta se considera proporcional a la velocidad (en concordancia con lo que ocurre en los proyectiles cuando $V_0 < 100$ m./seg.), pudiéndose poner

$$R = m \cdot \frac{g}{K} \cdot \frac{ds}{dt};$$

donde m es la masa de la partícula líquida y la constante $K = 75$, valor deducido experimentalmente por G. Daries para toberas de 20 a 30 mm. de diámetro y presiones de 5 a 40 m.

Considerando la figura adjunta (fig. 1.^a), donde aparece el eje de un chorro de agua inclinado y las siguientes fuerzas actuantes sobre la partícula líquida: R es la resistencia del aire al movimiento del agua, tangente a la trayectoria y con sentido opuesto al movimiento; la acción de la gravedad $p = m \cdot g$, y la

fuerza de inercia $m \cdot \frac{d^2 s}{dt^2}$. Proyectándolas sobre los dos ejes coordenados, resulta:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = -m \cdot \frac{g}{K} \cdot \frac{dx}{dt}; \quad [1]$$

$$m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = mg - m \cdot \frac{g}{K} \cdot \frac{dy}{dt}, \quad [2]$$

que simplificando y quitando el factor común m se reducen a:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{g}{K} \cdot \frac{dx}{dt}, \quad [3]$$

y

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -g - \frac{g}{K} \cdot \frac{dy}{dt}. \quad [4]$$

Para integrar esta ecuación cambiaremos de variable, poniendo

$$u = y + K \cdot t; \quad \frac{du}{dt} = \frac{dy}{dt} + K; \quad \frac{d^2 u}{dt^2} = \frac{d^2 y}{dt^2};$$

que llevadas a [4] se convierten en:

$$\frac{d^2 u}{dt^2} = -\frac{g}{K} \cdot \frac{du}{dt}. \quad [4 \text{ bis}]$$

Ecuación fácil de integrar dos veces; teniendo en cuenta los valores para $t = 0$, resulta:

$$y = -Kt + \frac{K}{g} (V_0 \sin \alpha + K) x \left(1 - e^{-\frac{g}{K} \cdot t} \right). \quad [5]$$

La ecuación [3] se integra más fácilmente todavía, y teniendo en cuenta los valores para $a = 0$, resulta:

$$x = \frac{K \cdot V_0 \cdot \cos \alpha}{g} \cdot \left(1 - e^{-\frac{g}{K} \cdot t} \right). \quad [6]$$

Eliminando t entre esta ecuación y [5], se obtiene la ecuación del chorro líquido:

$$y = \frac{(K + V_0 \sin \alpha) \cdot x}{V_0 \cos \alpha} + \frac{K^2}{g} \cdot \left[1 - \frac{g \cdot x}{K \cdot V_0 \cdot \cos \alpha} \right], \quad [7]$$

que es una curva de aire parabólico con una asíntota vertical que se obtiene para:

$$1 - \frac{g \cdot x_0}{K \cdot V_0 \cdot \cos \alpha} = 0;$$

$$x_0 = \frac{K}{g} \cdot V_0 \cdot \cos \alpha = 7,65 \cdot V_0 \cos \alpha. \quad [7']$$

El alcance se obtendrá, evidentemente, haciendo $y = 0$ en la ecuación [7], resultando:

$$0 = \frac{(K + V_0 \sin \alpha) \cdot A}{V_0 \cos \alpha} + \frac{K^2}{g} \left[1 - \frac{g \cdot A}{K \cdot V_0 \cdot \cos \alpha} \right], \quad [8]$$

ecuación trascendente que sólo puede resolverse por tanteos. (Aproximadamente puede desarrollarse en serie el segundo sumando, recordando que si

$$z < 1, \quad 1(1 - z) = -z - \frac{z^2}{2} - \frac{z^3}{3} - \frac{z^4}{4} \dots,$$

tomando los dos primeros términos y simplificando). Por uno u otro de estos procedimientos puede deducirse el ángulo de inclinación que da el máximo alcance, así como el valor de éste. No obstante, podemos establecer una comparación muy interesante con el alcance máximo teórico (si no hubiera resistencia del aire $A_m = V_0^2 \sin 2\alpha / g$), porque el práctico, con muy pocos metros de diferencia será la ordenada de la asíntota vertical, que en [7'] hemos deducido era igual a

$$\frac{75}{g} \times V_0 \times \cos \alpha;$$

dividiendo aquélla por ésta, la reducción del alcance del chorro es, aproximadamente, $p = V_0 \times \sin \alpha : 37,5$, que a partir de tres atmósferas ya resulta considerable. De todas formas la complejidad operatoria es muy grande, por lo cual es preferible hacer determinaciones experimentales. Así procedió Freeman. Con viento tranquilo observó que el máximo alcance A , para pequeña presión, hasta de 7 m. de carga, correspondía a la inclinación teórica de 45° ; para presiones elevadas (de 35 m.) a un ángulo de 34° . Nosotros, con pocos medios experimentales, hemos encontrado que el alcance máximo real se aproxima al 60 por 100 del máximo teórico que se obtendría si no existiese la resistencia del aire ($A_m = 0,60 \times 2 \times h = 1,2 \times h$). El tema es, verdaderamente, inabordable cuando se considera la acción del viento fuerte y si hay colisión de unos filetes líquidos con otros; por ello hay que continuar la experimentación de estos fenómenos. Desde luego, deben evitarse ambas cosas porque reducen notablemente el alcance y la altura del chorro.

APARATOS REGADORES.

Una primera agrupación de chorros se obtiene con las tuberías perforadas. Estas, con un espaciamiento de los taladros adecuada (que varía de 50 a 70 cm.), producen una banda líquida sobre el suelo.

Si queremos que la franja o banda tenga una anchura apreciable en terrenos de poca pendiente,

hay que hacer oscilar la tubería paralelamente a sí misma, lo que sólo se obtiene a cambio de mecanismos complicados, prácticamente poco aconsejables; por eso no deben emplearse estos sistemas y otros parecidos, como los carretones regadores, etc. Con pendientes mayores, la banda líquida producida por la tubería perforada se extenderá por desbordamiento, aunque aquélla no participe de movimiento alguno; así hemos visto aplicar este procedimiento con éxito a terrenos muy pendientes en la costa catalana.

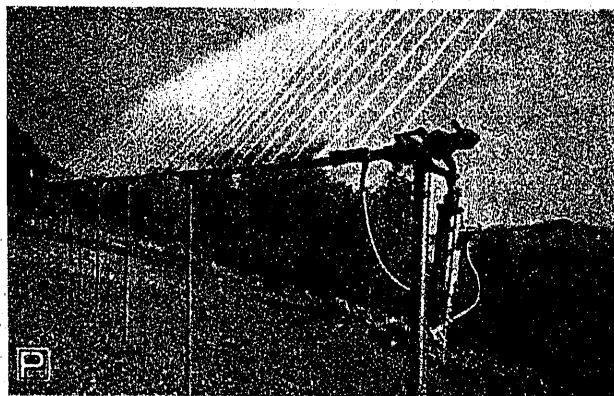


Foto 1.ª — Riego con tuberías perforadas.

Con instalaciones fijas de esta clase, se obtiene un dispositivo muy apropiado para el riego de árboles frutales, donde el movimiento y desplazamiento de las tuberías se hace muy dificultoso.

Para aumentar el gasto líquido, pueden acoplarse a los taladros pequeños tubos adicionales (boquillas). También es una variedad de este sistema la colocación en los taladros (espaciados de 8 a 10 m.) de pequeños regadores rotativos o dispersores. Con éstos, de tamaño muy reducido, hemos visto funcionar el sistema en la floricultura Kanda, de Barcelona; con aspersores mayores, marca Wright, presenciamos unas pruebas realizadas por la casa española Harry Walker.

Dejamos a un lado los aspersores de cabeza fija con taladros (sombrillas líquidas), porque son de corto alcance, 8 a 10 m., sólo propios para jardines y pequeñas parcelas. También se les achaca que producen una excesiva intensidad de precipitación acuosa. Hay surtidores espaciadores con lanza tronco-cónica fija; tienen un cono central con una espiral en relieve que imprime al chorro del agua un movimiento giratorio, que lo desparrama a la salida por la fuerza centrífuga.

Por lo tanto, para que el aspersor tenga un empleo general, se impone, en terrenos llanos y entrelanos, someter a los chorros a otros movimientos diferentes del de traslación; el más sencillo es el de rotación, que es el producido por los aspersores, rociadores, regadores o irrigadores más corrientes, donde la rotación puede ser completa o parcial (sector regado), por oscilación limitada de la lanza o tobera.

ASPERSORES ROTATORIOS.

Se clasifican en tres grupos principales: los aparatos de baja presión (de 0,20 a 2 Kg./cm.²); los de media (entre 2 y 4 Kg./cm.²), y, finalmente, los de alta (funcionan entre 4 y 8 y hasta 12 Kg./cm.²).

Mirando a la constitución misma del aparato, de estos aspersores pueden hacerse los siguientes grupos:

1.º Torniquetes hidráulicos, rueda de Berker o molinetes, que constituyen una ampliación del torniquete hidráulico o molinete de Segner, perfeccionado por Euler (padre e hijo) a mediados del siglo XVIII. Funcionan por reacción. Constituyen un ejemplo típico de esta clase de aparatos, mencionados en muchos tratados de Física (fundados en el mismo principio, hay torniquetes eléctricos y acústicos-sirenas). Se emplean en los filtros percoladores (depuración de aguas residuales) y en el riego de jardines, campos de tenis y parques. El torniquete es una turbina centrífuga de inyección parcial y reacción total, de poco

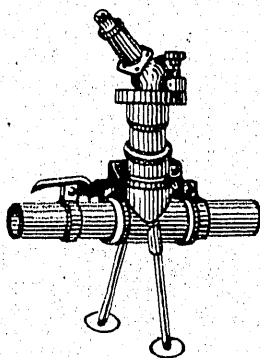


Fig. 2.ª — Distribuidor Lanninger Regner.

rendimiento; alimentado por un desnivel constante, su gasto tiende a crecer linealmente con la velocidad, a medida que ésta aumenta, disminuyendo el par resistente (a consecuencia de efecto centrífugo que aumenta la carga sobre los orificios), llegándose, en teoría, a un valor infinito, cuando aquél se hace cero; es interesante para obtener grandes velocidades de rotación con muy pequeñas potencias, como lo hizo P. Guiton, utilizándolo en el accionamiento de unos cepillos de hilaturas. Hay torniquetes móviles desplazándose sobre carriles automáticamente, porque la reacción del agua sobre los brazos del torniquete hace girar a éste y avanzar sobre los carriles, con un alcance a cada lado de la vía de unos 12 m. para los grandes torniquetes (espaciamento de las vías, de 20 a 25 m.); ya hemos dicho que este sistema de carrerón no es aconsejable económicamente. El dibujo de un aparato de esta clase, de brazos cortos, puede verse en mi mencionado artículo de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS del mes de agosto de 1950, "Un aspecto interesante de las obras de puesta en riego".

2.º Aparatos de chorro único, o que también tienen un chorro complementario. Van montados en una pieza especial, unida a la tubería de distribución por un acoplamiento rápido o un enchufe de bayoneta, como el aspersor Wright, o el Lanninger-Reguer de la figura 2.ª; los de las casas Bauer, Holz y Mannes-

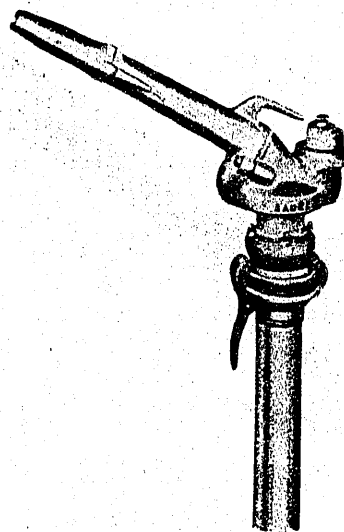


Fig. 3.ª — Aspersor, modelo grande, de Bauer.

mann, etc., pueden tener este sistema de conexión o ir montados sobre un tubo vertical (lanza), un trípode o sobre unos patines, conectándose en los dos últimos casos a la tubería distribuidora por una manga. Tenemos, a la vez, cuatro subclases dentro de los aparatos más corrientes:

a) Aspersores en que el chorro gira por reacción de un brazo acodado (unos 30º), que acciona una

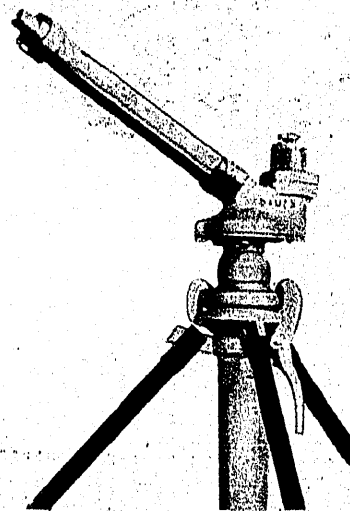


Fig. 3.ª bis. — Aspersor Bauer, tipo medio.

lámina que se interpone alternativamente a la salida del chorro para la desviación de éste y el riego de las superficies próximas al aparato. De este sistema son los aspersores modelo grande de la casa Bauer, que ha hecho muchas instalaciones en España, y el aspersor Perrot, fabricado por algunas casas espa-

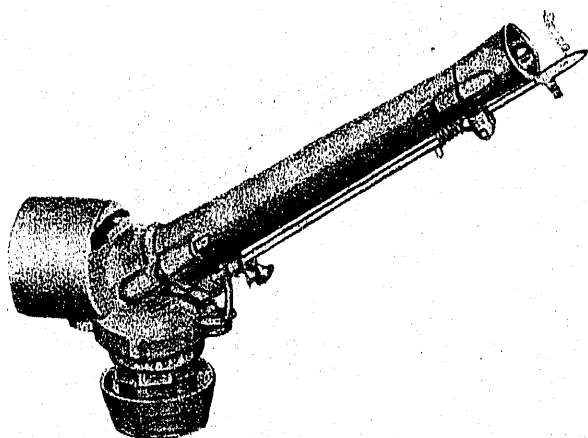


Fig. 4.ª — Aspersor Perrot.

ñolas. En éste (véanse las figuras 3.ª y 4.ª), al salir el agua por la tobera, dado el ángulo de ésta con el tubo al que va acoplada, produce el giro del aparato, que se transmite a la caja de engranajes situada a la izquierda (donde, por medio de un tornillo y resorte,

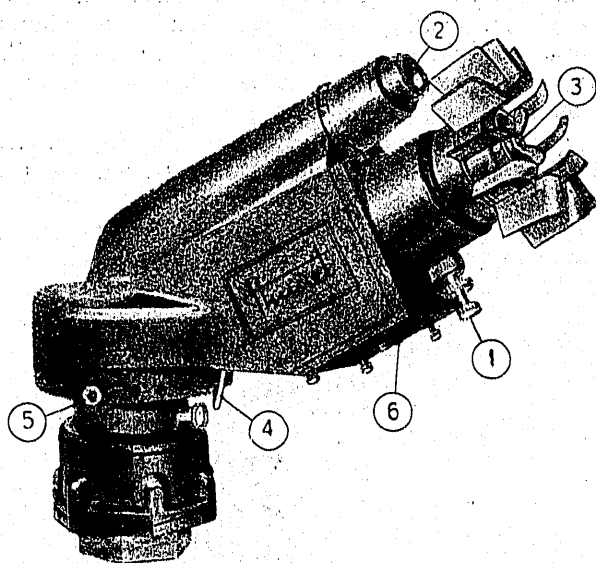


Fig. 4.ª bis. — Aspersor Humet.

se frena su movimiento; en otros aparatos, el freno es de aceite), y para el riego de las superficies próximas hay una laminita deflectora o rompechorros que lo interfiere gradual y periódicamente, accionada por el vástago representado debajo de la tobera.

b) En estos aspersores (sistemas Bauer, tamaño menor; Mannesmann, Wright, etc.), esencialmente, el chorro incide sobre una lámina, provista de un resorte antagónico, que produce el giro del aparato, a la vez que desvía el chorro para producir el riego de las superficies próximas a aquél. En la figura 3.ª bis se presenta un aspersor Bauer tipo medio.

c) Aspersores en que el chorro líquido incide sobre los álabes de una pequeña turbina, cuyo movimiento demultiplicado produce el giro del aspersor, al propio tiempo que la interrupción de aquél lo desvía para regar las superficies próximas. En el aspersor Lanninger o en el Italtpioggia, la tobera tiene una boquilla secundaria; el chorro de ésta acciona una rueda de paletas, cuyo movimiento se transmite por un sistema de engranajes, produciendo el giro del aparato; el mismo chorro, desviado, sirve para regar las partes próximas al aparato. En la figura 4.ª bis representamos un aspersor Humet de este sistema, donde: 1, es un tornillo regulador para variar al ángulo de ataque del chorro a los álabes de la turbina y, por lo tanto, para regular el alcance y la distribución de las precipitaciones; 2, la tobera o boquilla intercambiable, de 10 a 20 mm. de diámetro, según el tipo de precipitación; 3, tuerca mariposa para sujetar la turbina; 4, palanca de mando para dar al aparato el giro total, o el reducido a un sector; 5, pivotes de tope, uno a cada lado, para graduar el ángulo de los sectores; 6, tope de la caja-estanca de los mecanismos. (En los modernos aparatos Saca-Humet, fabricados en España, hay un chorro principal, de largo alcance, y un chorro secundario que acciona la turbinita).

d) Aspersores al vacío, como el V de la casa Höltz, los que "permitiendo al chorro de agua salir libremente de la tobera, recibe en ella, gracias al vacío que se produce dentro de la misma, una aceleración adicional, obteniéndose así el máximo alcance posible. Con dicho vacío se impulsa simultáneamente un motor, cuya tarea consiste en hacer girar el rociador de una manera absolutamente segura y uniforme bajo todas las condiciones del servicio". Por medio de dos topes, se puede regar el sector circular de la amplitud que se desee. El problema de la desviación del chorro, para regar los puntos próximos al aparato, "se ha solucionado independientemente de la presión en la boquilla de la tobera, mediante el vacío, sin que el alcance del chorro sea reducido lo más mínimo. El chorro pleno sale de la boquilla de la tobera, quedando libre durante un breve momento. Entra entonces en acción el deflector que interrumpe el chorro a cortos intervalos. La sucesión de estos intervalos corresponde aproximadamente al ritmo de la respiración humana".

Relacionado, en cierto modo, con el tipo anterior, tenemos los aparatos pulsorreacores sin válvulas, que llegan a alcances de 130 m., fundados en unos fenómenos vibratorios, engendrados a un ritmo de 50 períodos por segundo, que dan gran rendimiento con pequeño consumo de carburante.

Hay infinidad de modelos y mecanismos presentados por las casas constructoras; pero todos se reducen en esencia a los dispositivos anteriormente descritos. Como variedad de ellos, mencionaremos el cañón regador, que es un aspersor de chorro potente, a reacción, colocado sobre un depósito, alimentado por una tubería de conducción. La ventaja de este aparato es que, con pequeños caudales, produce chorros potentes e intermitentes; aunque es automático, el riego es lento. Sólo es recomendable en el caso de energía barata.

ción de aluminio y silicio (silumín) o de aluminio y cobre (duraluminio), etc., con algunas partes accesorias de plásticos, acero, hierro galvanizado, etc. El diámetro de las boquillas oscila entre los límites de 3 y 30 mm.; las presiones de trabajo, de 0,2 a 12 atmósferas, y los pesos de los aspersores, de 0,50 a 10 Kg.; hoy día son aparatos caros, en relación a su peso y a lo mecanizados que están, porque todos ellos están protegidos por patentes recientes. En todos, la velocidad de rotación es pequeña (mayor en los de turbina), de 0,5 a 2 vueltas por minuto, con

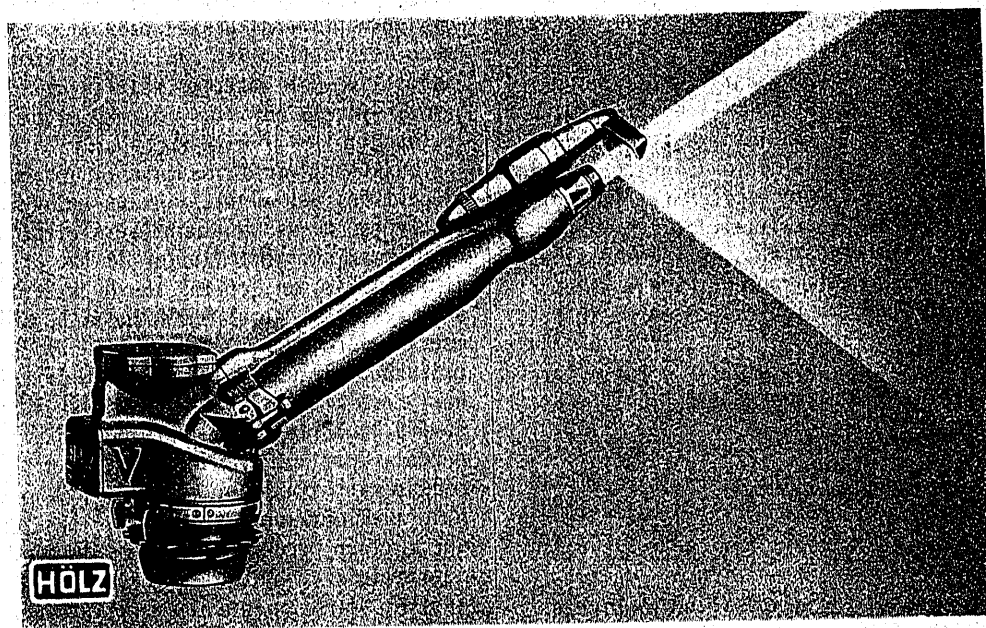


Fig. 4.^a ter. — Aspersor V de la Casa Hölz.

Los aspersores son los artefactos fundamentales de este sistema de riego. Son aparatos delicados, de construcción mecánica esmerada y con todo lujo de detalles. Por ejemplo, la boquilla debe ser completamente cilíndrica, sin convergencias ni divergencias, para evitar movimientos turbilnarios, y para asegurar el paralelismo de los filetes líquidos, hay constructores que ponen en el interior de las lanzas tubos o aletas directrices. Cuando el chorro de un aspersor es muy potente, la repartición del agua es irregular; la gruesa masa de agua cae cerca del límite del alcance del chorro, mientras que las zonas próximas a éste reciben poca agua; para obviarlo, además de los procedimientos expuestos al describir los aspersores de rotación y de turbina (principalmente, y los deflectores de chorro), algunos constructores mecánicos hacen mover la tobera dentro de un plano vertical.

Estos aparatos se construyen principalmente de acero inoxidable, bronce fosforoso, latón rojo, alea-

lo que el desgaste es menor y la perturbación del chorro líquido despreciable.

Debido a la circunstancia que acabamos de apuntar, el caudal arrojado por un aspersor se ha de separar poco del que salga por la boquilla fija, sin girar, pudiendo ponerse

$$Q = R \cdot S \cdot \sqrt{2gh} \quad \text{o} \quad R = Q : (S \cdot \sqrt{2gh})$$

siendo R el rendimiento en caudal del aspersor. Para determinarlo se tienen plantas de experimentación, como la casa Bauer en El Pardo, la Mannesmann en Alemania, etc., donde se mide el Q que realmente cae al suelo poniendo pluviómetros cada tres metros, y la carga h en la tobera con manómetros. También se determinan los alcances máximos; de donde $i = Q : (\pi \cdot A^2)$. En un aspersor ideal, el alcance máximo sería $2h$; como la resistencia del aire, choques, etcétera, le hacen disminuir notablemente, el rendimiento de alcance será: $r = A : (2h)$. El buen fun-

cionamiento de un aspersor depende de que R y r sean lo mayores posible. A este respecto, hemos examinado 255 casos sacados de los catálogos de las principales casas constructoras mencionadas anteriormente; partiendo de los Q , S y A que allí se dan, hemos calculado R y r , encontrando: que en el 72 por 100 de los casos, R está comprendido entre el 0,93 y el 0,99 (exclusive), con un mínimo del 0,90 (y un máximo, raramente alcanzado, de $R=1$), y r , en el 70 por 100 de los casos, está comprendido entre 0,20 y 0,40 (exclusive), con un mínimo del 0,18 y un máximo del 0,60. Prudencialmente, en los anteproyectos, tomaremos $R=0,96$ y $r=0,30$. En general, el rendimiento de alcance disminuye con la presión y aumenta con la raíz cuadrada del diámetro de la tobera (aunque no hay clara proporcionalidad); no tan acusada es la ley de variación de R , que tiende a disminuir con el diámetro de la tobera y con la presión, pero más lentamente. Como se ve, el rendimiento en caudal es muy apreciable, y el de alcance muy bajo; todos los esfuerzos deben tender a construir aparatos con r más alta, que se aproxime a la unidad, para que el espaciamiento entre ellos y en las tuberías contiguas sea mayor; o sea, la instalación más barata.

De las fórmulas anteriores resulta, para un aspersor aislado, la siguiente intensidad media de precipitación:

$$i_m = \frac{Q}{\pi \cdot A^2} = \frac{R \cdot S \cdot \sqrt{2gh}}{\pi \cdot r^2 \cdot (2h)^2} = 10,63 \times \frac{d^2}{h^{3/2}}, \quad [9]$$

en litros por metro cuadrado y hora (o en milímetros por hora); habiendo tomado para R y r , respectivamente, sus valores medios 0,96 y 0,3; estando d (calibre de la tobera) en milímetros y h (presión en altura de agua) en metros. Del examen de esta fórmula se desprende fácilmente que los aspersores de gran presión pulverizan el agua, y al contrario, los de gran calibre. El aspersor pequeño o mediano es de empleo corriente en Israel y en las regiones semiáridas de América, donde hay que regar desde la siembra, y una reiterada mala distribución de i puede ser fatal para la cosecha. Esta uniforme distribución de las precipitaciones (que lo hace apto en la mayor parte de los regadíos), mayor baratura de adquisición de los aparatos y su funcionamiento a menor presión, son la ventaja de esta clase de regadores, cuyos inconvenientes son la mayor cantidad de tubería a emplear y la mayor duración de los riegos. Los aspersores grandes están indicados para riegos de socorro, empleándose solamente para compensar las deficiencias de las precipitaciones atmosféricas (en el centro de Europa, por ejemplo, donde las lluvias son, generalmente, suficientes), y tienen la ventaja del ahorro de la tubería y de la sencillez de los elementos; por contra, son más caros de adquisición y de funcionamiento (por las mayores presiones a emplear) y las

intensidades de precipitación son desiguales y demasiado fuertes.

Los aspersores de tipo pequeño o mediano están indicados para cultivos que, por la poca profundidad de sus raíces, como las hortalizas, exigen que las precipitaciones sean uniformes, y en la mayor parte de los cultivos de verano, donde las diferencias de i pueden ocasionar diferencias de producción entre los diferentes puntos de la parcela. En cambio, el regador grande, de considerable alcance de chorro, por lo que éste se perturba mucho, por lo anteriormente expuesto, está indicado en riego de socorro de cereales de primavera, y en el riego de árboles, para regar sus copas. Los árboles frutales de pulpa tierna (albaricoquero, melocotón, ciruelo, cerezo) requieren el riego debajo de la copa, para no estropear el fruto, por lo que se emplean aspersores grandes, con una inclinación del chorro de 17° .

Debe emplearse precipitación gruesa con grandes velocidades del viento, porque, cuanto más pequeña sea la gota, más fácilmente será arrastrada por éste, modificando la distribución de las precipitaciones i . Estas varían, en general, desde la semifina con presiones de 1,50 atmósferas, hasta la niebla muy fina con presión de 4 atmósferas, siendo la i tanto más uniforme cuanto más fina sea la lluvia, o sea, cuanto más elevada la presión. En tiempo cálido y con humedad baja, las precipitaciones finas favorecen las pérdidas por evaporación; luego, en los países que reúnan tales condiciones climáticas, no se deben emplear precipitaciones muy finas, o sea altas presiones, que también precisan de grupos de bombeo de mayor potencia.

Para darse cuenta del funcionamiento de un aspersor, no basta con el conocimiento de los coeficientes anteriores; hay que determinar también la uniformidad de la precipitación. Suponiendo que se acumulan en cada punto las que caen en una hora, el ideal sería que las i describiesen un cilindro; pero ya se ha dicho que no es así y que forman (sin viento) un casquete esférico o un cono; en el primer caso, la medida de la irregularidad de la precipitación podría darse por:

$$u = \frac{\Delta i}{\Delta a},$$

y con aproximación: i máxima = 1,5 i media; con distribución cónica, la irregularidad vendría determinada por la pendiente de la generatriz del cono (que en un espesor Wright, cerca de los bordes, es de 0,29 milésimas, y en un Hölz, de largo alcance, 0,22 milésimas).

En los aspersores que trabajan a gran presión, o a pequeño diámetro de tobera, el agua sale más pulverizada y el viento dispersa más estas pequeñas gotas, por lo que no son aconsejables en tales condiciones. En general, de las circunstancias meteorológicas (temperaturas, humedad, vientos) y del tipo de

aspersor; resulta la intensidad de precipitación mencionada anteriormente.

El aspersor perfecto debe cumplir las siguientes condiciones: 1.^a Funcionamiento mecánico automático. 2.^a Distribución homogénea del agua desde el aparato hasta el punto de máximo alcance, ya de por sí o considerando el trabajo combinado de los aspersores contiguos. 3.^a Posibilidad de funcionamiento a giro completo o a sector circular. 4.^a Una r que se aproxime a la unidad, o sea gran alcance en relación a la presión de trabajo. 5.^a Posibilidad de regular la pulverización. 6.^a Construcción mecánica robusta, esmerada, duradera, de materiales inoxidables y sencilla. 7.^a Facilidad de transporte, de acoplamiento y desmontaje (lo que está muy directamente relacionado con el poco peso). 8.^a Coste mínimo. 9.^a Que no se altere mucho el funcionamiento con las variaciones de la presión de trabajo, admitiéndose que ésta puede variar en un 20 por 100 sin alteración de la marcha del aparato.

Como un aspersor es una turbina, para su cálculo habrá que aplicar la teoría y fórmulas de las turbomáquinas de M. Rateau. Al darse la circunstancia de que aquí no hay momento resistente útil (si no existen muelles antagonistas), y solamente el debido al rozamiento del eje de apoyo y de las estopadas de valor pequeño ($0,50 \times g \times P \times R = 0,50 \times 0,10 \times 10 \times 0,05 = 0,25$ Kg./m. en aparatos grandes), resultaría un movimiento acelerado; según los experimentos de M. Guiton, mencionados anteriormente.

TUBERÍAS, SUS PIEZAS ESPECIALES Y ACCESORIOS.

Para la alimentación de los aspersores, hay un sistema de tuberías fijas, generalmente enterradas, llamadas tuberías maestras o primarias, a las que se

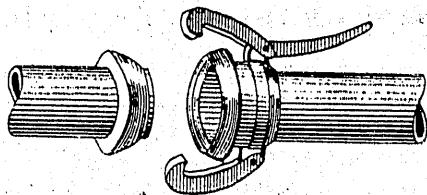


Fig. 5.^a — Junta de cierre. Mediante palanca articulada.

conectan las móviles o secundarias, donde se acoplan directamente los aspersores. Estas tuberías secundarias, de quita y pon, para que se puedan colocar y desmontar rápidamente, se hacen ligeras: de aluminio, de acero laminado (alquitranado interior y exteriormente), de acero galvanizado o de plásticos, con acoplamiento rápido. Este puede ser de junta cónica interior, fija, de goma, enchufe exterior metálico e interior de goma (espacio anular, donde entra el tubo macho, y que la misma presión del agua cierra), acoplamiento Laux representado en la figura 6.^a,

que permite ángulos de desviación de 15° , acoplamiento con palanca articulada y la junta rápida hermética Gromo, de la casa Hölz.

En los acoplamientos rápidos con palanca articulada, representamos en la figura 5.^a el de la casa Perrot. Dentro del sistema están el cierre de palanca HK, de la casa Bauer, y M. S. K., de la Mannesmann; en el primero, los extremos de los tubos llevan los acoplamientos de concha y cubilete (macho

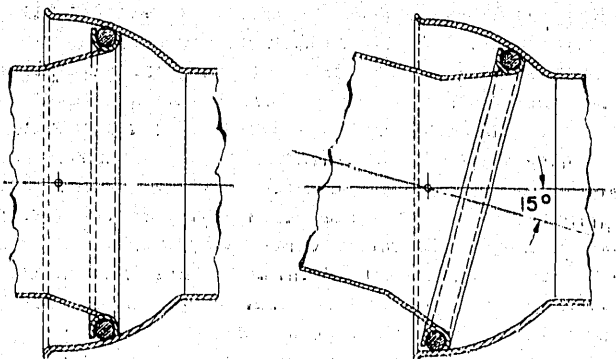


Fig. 6.^a — Junta Laux.

y hembra), que quedan unidos rápidamente mediante cierre mecánico de palanca y junta elástica de goma, permitiendo ángulos de 30° entre tubos contiguos, sin perder la impermeabilidad; los acoplamientos rápidos M. S. K. constan de macho y hembra (aquél tiene la forma de zona esférica y es portador de la palanca; la hembra se compone de dos troncos de cono achataados, unidos por la base mayor), que se unen por medio de una palanca de acople montada en la parte macho, y un anillo de goma recambiable da un cierre perfecto a la unión, permitiendo ángulos de desviación de 8 a 10° y haciéndose el empalme con sólo pisar la palanca.

En la junta Gromo, de la casa Hölz, el macho es una zona esférica lisa; en la hembra está interiormente la junta de goma; el cierre se efectúa con unas tuercas opresoras, festoneadas en los bordes, cuyos filetes interrumpidos abarcan ángulos de 120° .

Otro acoplamiento rápido automático interesante, que llamaríamos de resbalón, es el de la casa Wright, que permite juntar los tubos contiguos con el mínimo esfuerzo, sin herramientas, ya que basta introducir un tubo en el acoplamiento del que le precede, actuando de guía la placa de guarda (cuyo papel también es impedir que penetre la tierra), empujar el segundo tubo y el labio del primero levanta el pestillo de aquél, el cual se deja caer al llegar a su posición, y al dar paso al agua, la presión cierra automáticamente la junta; tienen suficiente flexibilidad, a pesar de ésta, para adaptarse a la superficie del terreno; la placa de guarda contribuye a la estabilidad manteniendo vertical el tubo portaaspersor; para desmontar, se empuja el segundo tubo contra el primero y

el pestillo (por el chaflán o resbalón de que está dotado inferiormente) es levantado por el labio del primer tubo, vaciándose ambos por sí mismos; la junta de goma deja de actuar cuando la presión del agua es inferior a 0,35 Kg./cm.².

Los tubos móviles tienen, generalmente, de 6 a 8 metros de longitud y se colocan con cuidado directamente sobre el terreno, o mediante un patín o un pequeño soporte. En Bilbao se fabrican tubos de acero estirados en frío; aunque no tienen costura longitudinal, son más caros que los de acero soldado galvanizado. Estos se construyen conformando cilíndricamente flejes de acero con máquinas especiales, soldando eléctricamente los bordes a solape, así como los acoplamientos de los extremos; sucesivamente, se decapan en ácido sulfúrico y se galvanizan por sumersión en un baño de zinc a 450° (de forma que aumenta el peso del tubo en un 30 por 100); este es el mejor preventivo contra la oxidación de las tuberías. La tubería de aluminio es más cara, menos resistente y más difícil de construir que la de acero; pero es más ligera que ésta, más manejable y más resistente a la corrosión (no precisando del galvanizado). Los tubos de acero negro, con barniz a base de alquitrán, duran veinte años, por lo cual están muy recomendados para el uso. En todos ellos (todos los descritos) la presión de prueba debe ser 5 atmósferas mayor que la de trabajo.

Las piezas especiales de las tuberías móviles son: los cuellos de cisne, tapas ciegas, tes, cruces, reducciones, derivaciones para los tubos, codos, colletes de acoplamiento rápido para mangueras, soportes para tubos, trípodes para aspersores, piezas de empalme para los grupos moto-bomba y válvulas de pie y de retención de éstos y ventosas. Pueden considerarse como piezas accesorias los manómetros, que se pueden colocar a lo largo de las tuberías, para comprobar que la caída de presión no pasa del 20 por 100.

La ventaja de esta clase de tubos y de las juntas de acoplamiento rápido es manifiesta. Generalmente, un hombre solo puede trasladar 200 metros de tubería móvil de aleación ligera (de 80 a 100 mm.) a su inmediata posición (de 15 a 20 m. de distancia) en veinte minutos. Aun en los tubos fijos se nota la diferencia: en los tubos de fibrocemento, en condiciones ordinarias y con acoplamiento corriente, el montaje de unos 300 m. de longitud de tubería precisaba el empleo de cinco o seis personas durante dos o tres días; con juntas Gibault, 1 000 m. de longitud de tubería, de la expresada clase, pueden colocarlos en una jornada dos obreros especializados; en este último caso, el montaje completo y cierre de zanja de 1 100 m. de tubería de 50 mm., exige diez días de trabajo de cuatro peones y un chico.

Conociendo el caudal que ha de circular por una tubería, en una primera aproximación se puede calcular su diámetro por la fórmula empírica de Bress:

$$D = 1,5 \times \sqrt[3]{Q};$$

estando expresados D en metros y Q en metros cúbicos por segundo. Después se calculará la pérdida de carga en los ramales fijos y móviles; de modo que tanto el aspersor más próximo a la toma, como el más lejano, trabajen a la presión de trabajo o, por lo menos, al 80 por 100 de ésta (condición 9.ª señalada anteriormente al aspersor perfecto). La pérdida de carga se determina por gráficos, ábacos o empleando la fórmula de Daroy modificada:

$$J = 1,20 \times K \times Q^2,$$

donde J es la pérdida de carga unitaria, 1,20 un coeficiente de aumento por pérdidas en codos, llaves, etc., K un coeficiente variable con el diámetro (hasta $D = 0,50$ m. para fibrocemento, duraluminio y acero galvanizado, es 1,94 veces menor que el relativo a la fundición, de paredes menos lisas; para tubos nuevos de fundición, hay que dividir por 2), y Q está expresado en metros cúbicos por segundo; la V en metros por segundo. Hay tratados de Hidráulica, como el de Forchheimer, que dan las K correspondientes a los distintos diámetros de los tubos de fundición y luego las fórmulas complementarias:

$$h = K' \cdot Q^2 \quad y \quad V = K'' \cdot Q$$

(donde h es la altura de carga correspondiente a la velocidad) con sus coeficientes K' y K'' , lo que facilita extraordinariamente la determinación de las D o de las pérdidas de carga, según los casos. La velocidad media en las tuberías debe comprobarse, resultando ser inferior a 2,50 m. por segundo.

Las bocas de riego se reducen a una *tee* intercalada en una tubería; en el extremo libre de aquélla va roscada una válvula que está provista de un acoplamiento rápido y de una amplia palanca de maniobra, sobresaliendo suficientemente del terreno para que se pueda accionar por ésta. Una arqueta de fábrica, con tapa y desagüe suficiente, cobija a la boca de riego.

DIFERENTES CLASES DE INSTALACIONES DE RIEGOS POR ASPERSIÓN.

Las hay *transportables o móviles*, en las que se desplazan todos sus elementos componentes durante el riego (estación de bombeo, tuberías y aspersores), de acuerdo con un plan de riegos preconcebido. Tal sistema está muy indicado en el riego de márgenes y laderas, en la proximidad de ríos, canales, albercas, etcétera, donde puedan establecerse tomas sucesivas, o para riegos de socorro, con reducidas horas de trabajo para asegurar la cosecha de cereales o de las praderas de la montaña.

Hay *instalaciones temporales*, donde la red completa de tuberías se instala tan pronto como se hayan dado las labores al campo y se desmontan poco antes de la cosecha, para desplazarlas a otra parcela donde aquéllas vengan más tardías. Durante el intervalo de

dos o más meses que están colocadas las tuberías, se conectan los aspersores en sus posiciones sucesivas. En estas condiciones, una sola persona puede regar cómodamente 10 hectáreas.

En las instalaciones fijas, todo el sistema de tuberías y la estación de bombeo, si la hay, son invariables de posición, salvo los aspersores. Se trata de una instalación cara, propia de cultivos muy remuneradores, jardines, protección contra heladas, o de fincas pequeñas.

Las instalaciones semifijas son las más empleadas, en general. En ellas algunos componentes son fijos, como las estaciones elevadoras y parte de las tuberías; el resto de éstas y los aspersores se desplazan a medida que lo vayan requiriendo los riegos a efectuar. Como se ha dicho, las tuberías fijas (comúnmente de hormigón o de fibrocemento), van enterradas a una cota mínima de 80 cm. sobre su generatriz superior, para preservarlas de las acciones térmicas, mecánicas y facilitar las labores agrícolas; de trecho en trecho, van provistas de bocas de riego, donde toman el agua las tuberías móviles, que, a su vez, llevan conectados los aspersores. Es el tipo de instalación adecuado para grandes fincas; de un modo general se preconiza cuando la superficie a regar pasa de 20 hectáreas.

Como en la mayor parte de los casos, la presión disponible no es suficiente, precisará una estación de bombeo, cuya potencia se determina por el caudal a elevar y la altura piezométrica (suma, como se sabe, de la geométrica y de la pérdida de carga). Para un tanteo, en zonas cálidas, cultivos de verano y donde no sean necesarias grandes alturas de elevación, puede ponerse la potencia de un caballo por hectárea.

La tubería móvil se divide en dos partes principales, y ya hemos indicado que está compuesta por tubos ligeros de acoplamiento rápido. La primera parte la componen los laterales móviles, que se conectan a una boca de riego de la tubería fija y llevan intercaladas piezas especiales en *te* o en *crus* para conectar los ramales móviles portadores de derivaciones donde se conectan los aspersores. El elemento de riego, del que vamos a ocuparnos, determina la separación de los aspersores contiguos dentro de un mismo ramal y el espaciamiento de dos ramales consecutivos.

Como las plantaciones de árboles, los aspersores se pueden agrupar según rectángulos (marco real) o triángulos (al tresbolillo). En apariencia, debe emplearse ésta porque aprovecha más el espacio disponible y la acción de los regadores (fig. 7.^a); de esta forma que, con más separación de los aspersores, respecto a la distribución rectangular, no quedan superficies sin regar (aunque sí superficies doblemente regadas), siendo el espaciamiento de ramales móviles, respecto al alcance del aspersor $D = 1,5 \times A$, y la separación de éstos $S = \sqrt{3} \times A$; pero es mejor que queden pequeños espacios intercalares sin regar, que recibirán la humedad sobrante de los doblemente re-

gados. Tal es la distribución óptima de aspersores de la figura 8.^a, donde $D = 1,60 \times A$ y $S = 2,10 \times A$.

Claro que esto es en la hipótesis de una distribución uniforme de la intensidad de precipitación i , que no es el caso real de la mayor parte de los aspersores que se venden en el mercado, donde la distribución

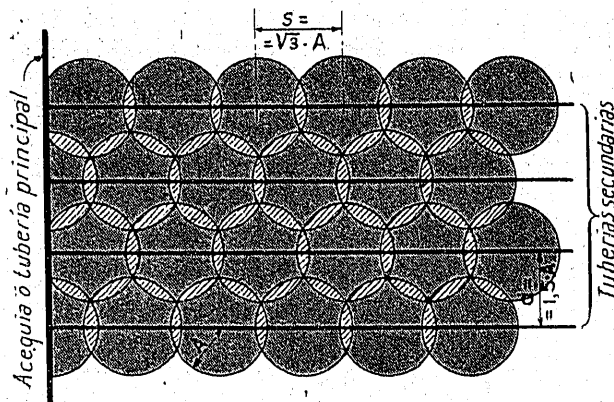


Fig. 7.^a — Distribución de aspersores y de tuberías secundarias a la máxima separación posible, no quedando ninguna superficie sin recibir riego.

es cónica. Entonces, dada la complejidad del problema, hay que proceder experimentalmente si se quiere estudiar las cosas bajo una base segura y conocer el funcionamiento en el campo del conjunto de varios aspersores, e incluso la acción del viento sobre

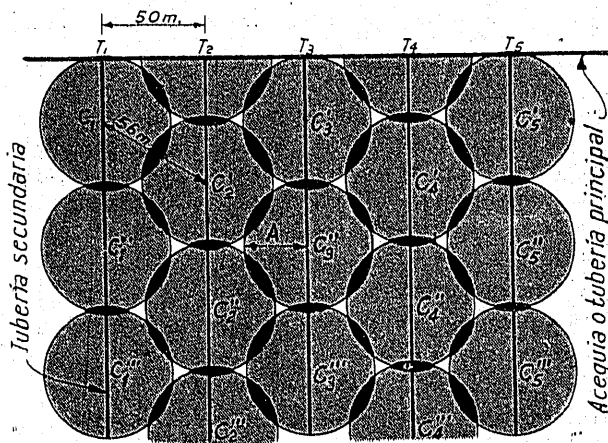


Fig. 8.^a — Distribución óptima de aspersores. (Con intensidad uniforme de precipitación.)

ellos, o sea las condiciones reales de trabajo de los aparatos. Para lo cual se hace el estudio en las estaciones de experimentación, como la de Mannesmann en Alemania y la de Bauer en El Pardo, donde se colocan pluviómetros en los vértices de unos cuadrados de tres metros de lado que cuadriculen la finca; así, puestos en funcionamiento los aspersores de una determinada agrupación, puede estudiarse la verdadera

y real distribución de la precipitación i . Desde luego, como más sencilla, se preconiza hoy día la distribución rectangular, representada en la figura 8.^a bis (los círculos pequeños representan los aspersores; a la derecha del dibujo, en la línea vertical figura la tubería lateral móvil; las líneas fuertes horizontales representan los ramales móviles). En esta agrupación rectangular, para sacar mucho partido a los aspersores y por economía de maniobra, se ha aconsejado erróneamente que las tuberías móviles se espacien a $D = 1,40 \times A$, y dentro de cada ramal móvil la separación de aspersores sea $S = 1,20 \times A$; en las condiciones de la realidad, con viento, se deduce de las

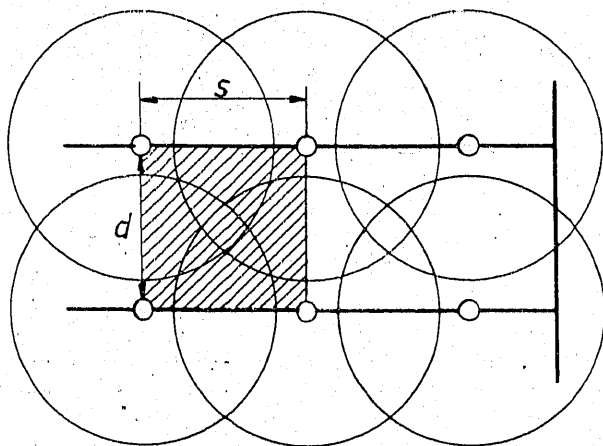


Fig. 8.^a bis. — Distribución práctica de los aspersores.

mencionadas experiencias de Bauer en El Pardo, que el espaciamento sólo puede ser de $D = 1,2 \times A$ y la separación $S = 0,75 \times A$ (aunque en casos excepcionales puede llegarse a 0,90), y con las cosas así dispuestas la intensidad de precipitación sólo varía de un sitio a otro en $\pm 0,20$ de la media.

Continuando con las observaciones de Bauer, los valores máximos límites, en condiciones excepcionales (sin viento) son, respectivamente, de $D = 1,40 \times A$ y $S = 1,20 \times A$, que se reducirán a $D = A$ y a $S = 0,50 \times A$ en las condiciones más adversas, de mucho viento. La mayor uniformidad de i se consigue cuando ambos valores están cerca de sus límites inferiores; para un aspersor dado, combinando aquellas variables, se pueden obtener diferentes intensidades de precipitación.

Por deducción de los datos de los catálogos de las casas constructoras, podemos consignar los valores siguientes para diferentes clases de aparatos: aspersores Wright, $D = 1,37 \times A$, $S = 0,79 \times A$; aspersores Perrot, como máximo, $S = D = 1,60 \times A$; en los Mannesmann, $D = S$ y valen de $1,20 \times A$ a $1,40 \times A$; en los Hölz, también $D = S = 1,35 \times A$,

como promedio (mínimo del coeficiente, 1,25, y máximo, 1,46).

Elemento o unidad de riego es la superficie de terreno comprendida entre cuatro posiciones de aspersores sin ningún intercalado; bien correspondientes a dos desplazamientos consecutivos de un ramal móvil y a dos regadores contiguos del mismo, o bien a cuatro posiciones simultáneas de aquéllos; este elemento (rayado en la figura 8.^a bis) participa de las características combinadas de los aspersores, o sea intensidad de precipitación, uniformidad en el reparto de ésta e influencia del viento, etc.

La reunión de varios elementos de riegos se integra por un *equipo móvil*, que está constituido principalmente por una tubería lateral móvil que amplía el campo de acción de la boca de riego, y uno (o varios) ramales donde se acoplan los aspersores. La zona cubierta por una boca de riego puede ser del orden de 4 a 8 hectáreas. Si es posible el ramal debe ser lo suficientemente largo para contener todos los aspersores en funcionamiento, o ser un múltiplo de dicha longitud; pero si esto no puede conseguirse, hay que tener dispuesto un juego de ramales cuya suma de longitudes sea mayor que la del ramal más largo entre todos los que derivan de una boca de riego, para poder utilizar todos los aspersores disponibles entre un ramal y los siguientes. En la tubería lateral móvil, el número de derivaciones conviene que coincida con el número de posturas o estaciones del ramal móvil en la jornada de trabajo (o ser un múltiplo de estos) para no tener que mover aquella hasta el día siguiente, en que se coloca en la posición inmediata, con lo cual puede determinarse la longitud de dicho lateral. También es conveniente instalar válvulas en las derivaciones de conexión de los ramales, a fin de no tener que ir a la arqueta para ponerlos en funcionamiento o para desconectarlos. (Para que no queden superficies sin regar, se debe procurar colocar los ramales móviles perpendicularmente a la dirección de los vientos dominantes). Conocido el caudal disponible, se puede determinar el número de aspersores en funcionamiento, siendo la longitud del ramal la correspondiente a la totalidad de aquéllos o a un múltiplo de los mismos, según hemos dicho.

FUNCIONAMIENTO DE UN REGADÍO POR ASPERSIÓN.

Completando lo expuesto anteriormente, una vez determinado el elemento o unidad de riego, se fijarán sobre el plano de la zona regable todas las posiciones de los ramales móviles; así que el manejo de la instalación consistirá en colocar el lateral móvil conectado a la boca de riego correspondiente (o directamente al grupo moto-bomba, si se trata de una instalación móvil) y el ramal o ramales móviles, con sus aspersores conectados, en la posición indicada en los planos formados al efecto.

Conectado un ramal, se abre la válvula de paso correspondiente para que los aspersores montados en derivación en aquél funcionen en el período de duración del riego. Ahora bien, pueden ocurrir dos casos: que los aspersores estén conectados en todas las derivaciones del ramal, y entonces, efectuado el riego, se cerrarán las válvulas y se desconectará el ramal trasladándolo a la posición siguiente; cuando sólo haya aspersores conectados en un determinado número de derivaciones, se cambiarán aquéllos a las derivaciones siguientes, sin variar la posición del ramal primitivo hasta haber acoplado los aspersores a todas las derivaciones. Con arreglo a las indicaciones del plano formado al efecto, se moverán el ramal o ramales; una vez que éstos hayan completado todas las posiciones, se trasladará también el lateral móvil correspondiente a la boca de riego consecutiva en las instalaciones semifijas, o con el grupo elevador a la toma de agua siguiente en las instalaciones móviles.

Las mencionadas traslaciones y la época de efectuarlas se indicarán en un estado de operaciones, cuadro o calendario de riegos, anotando también en éstos y en el plano de la zona regable la duración y fecha de los distintos riegos efectuados. Para evitar las pérdidas de tiempo por las traslaciones de las tuberías móviles y de los aspersores, conviene disponer de un equipo supletorio para que el riego pueda efectuarse de una manera continua sin interrupción y poniéndolo en funcionamiento mientras se efectúan dichos desplazamientos.

A su vez, en el terreno, y para evitar confusiones, estarán replanteados con estacas las posiciones de los laterales móviles y de los ramales.

DATOS FUNDAMENTALES PARA REDACTAR EL PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGOS POR ASPERSIÓN.

Para formar un proyecto de esta naturaleza, precisa un detenido estudio previo agronómico, hidráulico y económico, y por lo menos los datos siguientes. 1.º, el conocimiento de la naturaleza del terreno, por medio de los análisis de las tierras a regar; 2.º, plano de la zona regable con curvas a nivel (o, por lo menos, con las pendientes de aquélla), especificando la acequia, pozo o río de donde se va a captar el agua; 3.º, plantas que se pretende cultivar; 4.º, caudal disponible; 5.º, dirección e intensidad aproximada de los vientos dominantes en la región. Con todo ello se fija el elemento de riego y su caudal, pasándose luego, según se ha dicho anteriormente, a determinar el caudal total y, si hay elevación, la potencia del grupo moto-bomba.

Para que el riego por aspersión funcione en buenas condiciones, se ha de proyectar con mucho esmero, planeando las operaciones necesarias según un plan preconcebido.

CONSUMO DE AGUA DE LOS DIFERENTES CULTIVOS.

Aunque son los experimentos directos los que deben decir la última palabra sobre el particular, por lo cual se deben recopilar los datos que remitan los usuarios de esta clase de riegos, he ahí unos datos aproximados que pueden servir de base en los proyectos, corrigiéndolos, según lo que la práctica de los cultivos aconseje, para lo cual se retocará el tiempo de duración de los riegos. En climas muy cálidos se puede tomar como humedad necesaria por día y hectárea, en milímetros de altura de agua: alfalfa y cultivos intensivos, 3,6 mm.; huertos y pastos, 3 mm.; cereales, 2,4 mm.; remolacha, 2,5 mm.; patatas, 2 mm.; en climas medios se tomará el 75 por 100 de las cifras anteriores, y en climas fríos, el 50 por 100. En las cifras anteriores corresponden, en los países muy cálidos, a los cereales un riego para la siembra de 22 milímetros y dos o tres riegos cada quince o veinte días, en el período de la espigazón de 30 mm. En los demás cultivos, considerando el tiempo de riegos de ciento cincuenta días, se considerará un período de riegos de quince días en mayo y septiembre, y de una semana en junio, julio y agosto.

DURACIÓN DEL RIEGO.

Conocida la cantidad de agua, q , que se precisa en cada riego, deducida de los datos anteriores o mejor de observaciones directas, se fija la intensidad de precipitación i por dos consideraciones: 1.ª, la clase de aspersor requerida por los cultivos y los vientos dominantes; 2.ª, la constitución del terreno y la pendiente, que limitan el valor de i por las fórmulas $[d]$, $[d']$ o $[d'']$, para que el agua no socave el terreno y sea absorbida por éste.

Dichos caudales, q , o dotaciones necesarias para el sistema cultivo-terreno, habida cuenta del clima, divididas por la intensidad de precipitación i , dan la duración del riego en horas, o sea el tiempo que ha de permanecer conectado o en estación un aspersor. Estas son largas al ser las intensidades de precipitación pequeñas, precisándose largos períodos de trabajo al día. Con un pequeño margen de tiempo para prevenir posibles entorpecimientos, la duración del riego de una finca debe ser igual al período entre riego y riego, si lo permite el número de aspersores disponibles, con lo cual se aprovecha más la mano de obra y se reducen las dimensiones de la estación elevadora y de las tuberías, con la consiguiente economía del costo de la instalación. De un modo general, la jornada de riego suele ser de unas dieciséis a dieciocho horas en el mes de máximo consumo; es decir, cuatro posturas o estaciones diarias de unas cuatro horas. (Para reducir a cero el tiempo perdido en los cambios de tubería, pueden emplearse equipos supletorios, con lo que la jornada de trabajo es de riego).

PLANIFICACIÓN DE UN RIEGO POR ASPERSIÓN.

Para ello, teniendo presente los datos y estudios expuestos en los tres apartados precedentes, llegaremos al conocimiento del tipo de aspersor adoptado, que tendrá un alcance A . De éste se deducirá el espaciamiento de los ramales D y la separación de los aspersores S , que encuadran los elementos de riego. Con estos datos se dibujará en papel transparente una cuadrícula, cuyos lados tendrán separaciones D en una dirección, y S , perpendicularmente a ésta, a la misma escala que el plano de la finca o zona regable. A éste se le superpondrá la cuadrícula transparente, cuidando que un lado de la primera dirección coincida con la toma de agua (donde va a situarse el grupo moto-bomba), girándola y moviéndola sin perder el contacto hasta que dicha línea sea lo que pudiéramos llamar un diámetro mínimo de la finca; entonces dicha línea coincidirá con la tubería de impulsión, las paralelas a ella las diferentes posiciones de los ramales móviles, donde las corten las líneas perpendiculares las derivaciones para conectar aspersores y una o varias de estas líneas los laterales móviles. La separación de éstos debe someterse al condicionado expuesto en el apartado "Elemento o unidad de riego". También debe procurarse que la dirección de los ramales sea perpendicular a la de los vientos dominantes para que la perturbación producida por éstos sea mínima y que la longitud de aquéllos cumpla los requisitos señalados en dicho apartado. Las arquetas se situarán en las intersecciones de la tubería (fija) de impulsión con los laterales móviles.

Verificado el trazado de la red de tuberías y teniendo en cuenta las necesidades de agua de los cultivos, se hará una hipótesis de turno de riegos, con lo que se determinará el caudal circulante, y por la fórmula de Bress los diámetros de las tuberías. Calculadas por la fórmula de Darcy las pérdidas de carga, podremos tener las alturas piezométricas, que deben ser iguales en cada derivación a la presión de funcionamiento del aspersor, con un error de $\pm$ el 20 por 100; también se determinará la altura piezométrica de elevación, que con el caudal nos permitirá deducir la potencia del grupo moto-bomba.

En fin, unos pocos tanteos, más o menos numerosos, según la habilidad del proyectista, permitirán llegar a la solución óptima del problema y redactar un proyecto correcto.

POSIBLES MEJORAS DE LOS MÉTODOS ACTUALES.

Hasta aquí hemos expuesto las realizaciones de los últimos años, que suponen un gran avance en la aplicación de la técnica de los riegos por aspersión; pero que no implican el que se haya alcanzado la meta final, ni muchísimo menos.

En primer lugar, hay que reducir al mínimo los

elementos móviles para que la mano de obra sea la menor posible; el ideal es que sólo haya que quitar y poner aspersores, quedando fijas las tuberías, que se colocarán enterradas, al objeto de que no estorben las labores agrícolas. Para que el establecimiento de la red de tuberías no sea antieconómico, precisa reducir éstas al mínimo, espaciando los ramales laterales, que ahora serán fijos, 100 ó más metros. Esto trae la necesidad de emplear aspersores de grandísimo alcance y con intensidad de precipitación unitorme.

Para alcanzar dichos objetivos con los aparatos actualmente en boga, haría falta una gran presión de funcionamiento, con notable encarecimiento de los aspersores, de los grupos moto-bomba y de las tuberías. El costo de éstas crece con el diámetro y la presión, por lo que hay interés en reducir esta última a los más bajos límites posible. Esto puede conseguirse con los aparatos del grupo primero, que ya se ha dicho son automotores, aun con muy pequeñas presiones de funcionamiento, del orden de media atmósfera. Claro que, para que cumplan con su cometido, hará falta darles grandes dimensiones; pero si se proyectan con detenimiento y se les dota de una suspensión *ad hoc*, podrán transportarse fácilmente con un pequeño tractor de ruedas de goma. La presión de 5 m. se encontrará fácilmente, sin apelar a costosas elevaciones en casi toda la zona regable, salvo en las proximidades de la acequia o canal de conducción; esto implica gran economía de fluido eléctrico o de carburantes, y sobre todo que el funcionamiento de la instalación no quede afectado por las restricciones de aquéllos. Un sencillo dispositivo antiviento evitará que el aparato sea perturbado gravemente en su funcionamiento por las corrientes atmosféricas.

Como las tuberías no son de diámetro extraordinario y están sometidas a muy baja presión, podrán construirse de hormigón hidráulico en masa, con notable reducción de su coste. Para ello se adapta una buena composición granulométrica de áridos (por ejemplo, siguiendo las normas suizas), y los tubos se fabrican con molde metálico, centrifugados o vibrados. Si, además, se trata de una gran zona regable, habrá una gran economía presupuestaria, del orden del 50 por 100, si se fabrican en obra en lugar de adquirirlos en fábrica, como ha ocurrido en el abastecimiento de aguas de Córdoba.

Los aspersores que funcionan por vacío o por golpe de ariete, también deben ser objeto de un estudio especial, sometiendo a observación, en una estación de ensayos, diferentes modelos proyectados para su perfeccionamiento y mejora.

En general, esto debe de hacerse con toda clase de nuevos aspersores diseñados, llevándose a la práctica el lema de nuestro primer centro científico: experiencia y cálculo. Así puede llegarse a la consecución de un nuevo sistema de riegos mucho más perfecto que los actuales.