

MECANIZACION Y AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS
DE RIEGO 1980.

Fecha	Tema	Hora	Profesor
Julio 28	Riegos de gravedad o superficie. Automatización que admiten en su funcionamiento o incidencia en su diseño y campo de aplicación.	17 a 21 h	Dr. Faustino García Lozano
Julio 29	Mecanización y automatización de los riegos por aspersión. Experiencia y ensayos en este campo. Resultados de las experiencias realizadas y campo de aplicación.	17 a 21 h	" " " "
Julio 30	Sistema auto-propulsados y auto-desplazables. Normas para su elección y diseño. Su fundamento y campo de aplicación.	17 a 21 h	" " " "
Julio 31	Sistema BOOM, Side Roll y Pivot. Su fundamento hidráulico, incidencia del cultivo en su elección y normas para el diseño de los sistemas Pivot.	17 a 21 h	" " " "
Agosto 1°	Determinación del costo y beneficio de los sistemas de riego mecanizados y automatizados. Recopilación de datos para el estudio de su costos de implantación y funcionamiento. Rentabilidad de su empleo en cultivos extensivos y de índice de mecanización elevado.	17 a 21 h	" " " "



DIRECTORIO DEL CURSO MECANIZACION Y AUTOMATIZACION
DE LOS SISTEMAS DE RIEGO 1980.

1. Dr. Faustino García Lozano
Ingeniero Jefe
Sección de Aplicaciones Agronómicas
Dirección General de Obras Hidráulicas
Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo
Madrid 3, España

2. Dr. Pedro Martínez Pereda (Coordinador)
Jefe de la División de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería
UNAM
México 20, D.F.
548 09 50

3. Dr. Ubaldo Bonilla Domínguez (Coordinador)
Secretario Académico
División de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería
UNAM
548 09 50

edcs.



EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

CURSO: MECANIZACION Y AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO.

FECHA: Del 28 de julio al 1° de agosto, 1980.

	DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES. (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION).	PUNTUALIDAD
CONFERENCISTA				
1. Dr. Faustino Garcia Lozano.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10				

SU EVALUACION SINCERA NOS AYUDARA A MEJORAR LOS PROGRAMAS POSTERIORES QUE DISEÑAREMOS PARA USTED.

TEMA	ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA	
Riegos de gravedad o superficie.					
Mecanización y automatización de. Sistemas auto-propulsados y auto-desplazables.					
Sistema BOOM, Side Roll y Pivot.					
Determinación del costo y beneficio de los sistemas de riego mecanizados y automatizados.					



EVALUACION DEL CURSO

	CONCEPTO	EVALUACION
1.	APLICACION INMEDIATA DE LOS CONCEPTOS EXPUESTOS	
2.	CLARIDAD CON QUE SE EXPUSIERON LOS TEMAS	
3.	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO CON EL CURSO	
4.	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
5.	CONTINUIDAD EN LOS TEMAS DEL CURSO	
6.	CALIDAD DE LAS NOTAS DEL CURSO	
7.	GRADO DE MOTIVACION LOGRADO EN EL CURSO	

ESCALA DE EVALUACION DE 1 A 10



1. ¿Qué le pareció el ambiente en la División de Educación Continua?

MUY AGRADABLE	AGRADABLE	DESAGRADABLE

2. Medio de comunicación por el que se enteró del curso:

PERIODICO EXCELSIOR ANUNCIO TITULADO DE VISION DE EDUCACION CONTINUA	PERIODICO NOVEDADES ANUNCIO TITULADO DE VISION DE EDUCACION CONTINUA	FOLLETO DEL CURSO

CARTEL MENSUAL	RADIO UNIVERSIDAD	COMUNICACION CARTA, TELEFONO, VERBAL, ETC.

REVISTAS TECNICAS	FOLLETO ANUAL	CARTELERA UNAM "LOS UNIVERSITARIOS HOY"	GACETA UNAM

3. Medio de transporte utilizado para venir al Palacio de Minería:

AUTOMOVIL PARTICULAR	METRO	OTRO MEDIO

4. ¿Qué cambios haría usted en el programa para tratar de perfeccionar el curso?

5. ¿Recomendaría el curso a otras personas?

SI	NO



6. ¿Qué cursos le gustaría que ofreciera la División de Educación Continua?

7. La coordinación académica fue:

EXCELENTE	BUENA	REGULAR	MALA

8. Si está interesado en tomar algún curso intensivo ¿Cuál es el horario más conveniente para usted?

LUNES A VIERNES DE 9 A 13 H. Y DE 14 A 18 H. (CON COMIDAS)	LUNES A VIERNES DE 17 A 21 H.	LUNES, MIERCOLES Y VIERNES DE 18 A 21 H.	MARTES Y JUEVES DE 18 A 21 H.

VIERNES DE 17 A 21 H. SABADOS DE 9 A 14 H.	VIERNES DE 17 A 21 H. SABADOS DE 9 A 13 Y DE 14 A 18 H.	O T R O

9. ¿Qué servicios adicionales desearía que tuviese la División de Educación Continua, para los asistentes?

10. Otras sugerencias:





centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



MECANIZACION Y AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

FUNDAMENTOS, FORMULAS THORNTHWAITTE Y BLANEY-CRIDDLE Y SU EMPLEO

DR. FAUSTINO GARCIA LOZANO

JULIO, 1980



MECANIZACION Y AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

Respetable auditorio y alumnos de este Curso:

Voy a intentar exponer en esta Conferencia, que será seguida de coloquio, las líneas generales que rigen en mi opinión el desarrollo del riego por aspersión en nuestra agricultura y la de otros sistemas modernamente introducidos. Asimismo expondré aquellas otras, que deben ser base para el desarrollo e impulso de estos sistemas de riego, perfeccionando e innovando al máximo su implantación y manipulación o empleo, para que sea efectivo y de resultados económicos positivos. Esto servirá para señalar los caminos o tendencias de fabricación, que a mi juicio debe seguir la industria dedicada a la fabricación de material agrícola, tendiendo a modernizar y perfeccionar la agricultura de regadío, que por su importancia en la economía de un país no sólo precisa esta avance, sino que a mi juicio es una exigencia de interés colectivo.

Podemos decir que ha sido a partir de 1946, cuando las tuberías de aluminio han alcanzado un nivel de precio razonable y asequible para su empleo masivo en aquellos países con predominio industrial. Asimismo que esta facilidad de disponer de tubería de aluminio a precio asequible es la que haya hecho que el riego por aspersión y otros sistemas que descubriremos, se hayan extendido por el mundo durante el período transcurrido de 1946 hasta el momento actual.

La utilización de las tuberías de aluminio aludidas y en otros casos de acero en diversas modalidades de fabricación, siempre tendiendo con esta sustitución a abaratar costes de implantación del sistema, dentro del inconveniente de mayor peso por unidad de tubo dificultando su manipulación, ha brindado con su empleo en el riego las ventajas siguientes:

Tener un método adaptable de aplicar el agua en el riego, con un.

El riego por aspersión en su desarrollo y empleo ha probado poderse adaptar a las más diversas condiciones de suelo y topográficas.

Disponer con el riego por aspersión de un método óptimo para poder regar terrenos muy arenosos, con pequeña altura de admisión de agua y por tanto de volúmenes de riego por unidad de superficie bajos. Terrenos difíciles por no decir imposibles de regar por los métodos tradicionales, sin grandes pérdidas de agua.

Poderse regar terrenos con fuertes pendientes o topografía irregular, que con otros métodos de riego exigen fuertes nivelaciones, destruyendo el perfil óptimo laborable y costosas inversiones.

Facilitar una mecanización óptima y de elevado rendimiento, al unificar el laboreo y prácticas de cultivo, sin rasas de riego, caballones, etc., que dificultan su realización.

Abrir la perspectiva de ahorros considerables de mano de obra en el riego, con elevado rendimiento en la aplicación del agua, unido a una mayor facilidad en los desplazamientos de tuberías y automatización en la realización del riego.

He creído básica la introducción anterior, pues pienso que hablar de Mecanización y Automatización de riegos, sin hacer previamente una sucinta exposición del más antiguo de ellos y pionero podríamos decir, de los que voy a describir en esta charla, es iniciar la construcción de un edificio por el tejado o detalles, olvidando que el soporte básico de su realización positiva y estable, son los cimientos.

Frente a lo expuesto anteriormente, sobre las bases en que se ha apoyado al parecer en los años transcurridos desde 1946, el desarrollo e impulso del *riego por aspersión y otros sistemas*, formuló la pregunta siguiente:

¿Son los objetivos que se persiguen exclusivamente con la mecanización y automatización máxima de estos riegos, disminuir costes de instalación y de mano de obra de su manipulación, unido a una mayor adaptabilidad de empleo?

La respuesta a esta pregunta entraña en mi opinión un sentido más filosófico, no cabe duda que los fines anteriores no son ni mucho menos los exclusivos, pensando que todos se centran en incrementar y mejorar la renta nacional. Podemos decir que todo objetivo de impulso o mejora en un programa de perfeccionamiento determinado, sea de índole privada, o estatal, es lograr el bienestar de nuestra sociedad.

Pues bien, que es el bienestar de nuestra sociedad, la definición de ello podemos resumirla de esta forma:

El bienestar de la sociedad se logra con una serie de ingredientes que podemos enumerar como sigue:

- a) Alimentos, vestidos y vivienda.
- b) Seguridad individual y colectiva.
- c) Lujo y comodidad.
- d) Buena salud.
- e) Buena educación.
- f) Relaciones familiares armoniosas.
- g) Condiciones de trabajo agradables.
- h) Un medio limpio y estimulador.
- i) Un cierto nivel de cultura.
- j) Un cierto nivel de moralidad.

El examen de los ingredientes anteriores, plantea la conclusión que hay muchos más de los expuestos que pueden contribuir a alcanzar un buen bienestar, como también que el peso o importancia de los expuestos está sujeto al énfasis, que en la concepción de bienestar ponga cada individuo. Ahora bien lo que no cabe duda, es que todos ellos entran de lleno en todo programa de desarrollo económico-social y máxime si éste centra en una faceta económica de tanta importancia en la economía del

país y ambiente duro e incluso ingrato en que a veces se desenvuelve, como es la agricultura.

No obstante podemos hacer dos observaciones importantes a la lista anterior. La primera de todas, es que la adquisición de cualquiera de las 10 condiciones expuestas, requiere bastante tiempo y energía humana, de las que sólo hay cantidades disponibles limitadas en cada individuo. La segunda es que puede verse que sólo las tres primeras están directamente asociadas con la producción total de buenos materiales, que pueden ser medidos en pesetas.

Por tanto, si la innovación o desarrollo de cualquier trabajo o actividad está relacionado estrechamente con el de la nación, que al fin es incrementar el bienestar de nuestra sociedad, entonces el problema básico radica, en qué proporción debería distribuirse nuestro tiempo disponible y energía, sobre la lista de ingredientes anterior, para que resulte el máximo incremento en el bienestar social.

No cabe duda que la solución del problema apuntado entraña dificultades, unas de índole humana y otras de definir claramente la medida del bienestar en la sociedad. Por tanto, lo que expondré sobre mecanización y automatización del riego por aspersión y otros, se basa en los dos aspectos siguientes:

- a) Ser el riego por aspersión y los que a su lado describiré, de resultados positivos en el aprovechamiento del agua e incidencia en la producción y atención cultural de los cultivos que se aplica. El primero de sumo interés considerando el agua como bien colectivo.
- b) Que las normas de desarrollo que señala la mecanización y automatización de estos sistemas de riego, se centran en incrementar la disponibilidad de tiempo y energía humana, así como de los recursos naturales, tendiendo a maximizar el valor pesetas de la cantidad de nuestro esfuerzo. Incidiendo en elevar el nivel profesional del riego y mejorar costos de producción.

Con ello las conclusiones que daré al final de mi charla son orientativas y la incidencia de ellas en el desarrollo e impulso de nuestros regadíos, queda sujeta al análisis económico que requiere todo programa de modernización, máxime si afecta a una actividad que goza de una tradición tan amplia en nuestra Patria como es el regadío. Asimismo que estas conclusiones son recomendaciones, cuya decisión para su impulso y desarrollo definitivo, quedan a criterio de la sociedad que debe aplicarlas y a las decisiones del Gobierno en la política agrícola que a su juicio debe seguir el país.

Termino esta introducción indicando, que la Mecanización y Automatización del riego por aspersión, e implantación de los otros sistemas modernos que con base más o menos similar de diseño han surgido, le centro en esta conferencia en las directrices siguientes:

- a) Incidencia de las tuberías de conducción del riego por aspersión, así como las modernas de P. V. C. y polietileno, en aumentar la mecanización de sus desplazamientos y automatización de su puesta en servicio.
- b) Tendencias de los modernos sistemas de mecanización en el riego, con el análisis básico comparativo que plantea su aplicación, incluyendo los riegos «Pivot».
- c) Perspectivas de fabricación para nuestra industria que brindan los riegos de goteo y pulverización, con tendencias para lograr una máxima mecanización y automatización en su empleo.

Hago la salvedad, antes de entrar en la descripción de las directrices anteriores, que la automatización que expondré se refiere al sistema de riego en parcela, a mi juicio la más compleja y de difícil solución, ya que la automatización de la entrega en su conexión con la red suministradora no creo sea Tema de la Ponencia y por otra parte tiene un carácter si-

milar al abastecimiento de una gran urbe, con automatización de los suministros a tenor de las demandas punta de agua y presiones necesarias en las redes de entrega a edificios o núcleos de ellos.

Pasando a la directriz a) incidencia de las tuberías de conducción del riego por aspersión, así como las modernas de P. V. C. y polietileno en aumentar la mecanización y automatización en su empleo, indico lo siguiente:

Es tema para la agricultura de regadío en España situado en plano de actualidad, lograr una automatización máxima en la operación propia del riego, así como tender a una disminución del coste de mano de obra que precisa su realización. Esto sin olvidar disminuir paralelamente los costes de conservación, disminuyendo maniobras de manipulación y de traslado del material que se emplea en el riego, que por otra parte inciden directamente en los daños y averías del mismo.

Dentro de los sistemas de riego que en general se emplean en España, ha sido el de aspersión y últimamente los modernos de goteo y pulverización, los que han iniciado un mayor incremento en su implantación, no sólo en regadíos de nueva creación, sino sustituyendo en muchas ocasiones a los sistemas tradicionales de gravedad o escurrimiento. En estos sistemas de riego, es elemento fundamental en su constitución, las tuberías de conducción, con pequeño peso por unidad de longitud y que permitan una fácil manipulación y transporte en la superficie que se riega. Manipulación y transporte fácil que con pequeños diámetros es aún más acentuada, siendo por otro lado este tipo de conducciones base del empleo de los modernos sistemas de goteo y pulverización.

En el riego por aspersión y con los modelos de aspersores que imperaban hasta hace unos 10 años, los diámetros máximos de tuberías móviles o desplazables a utilizar, oscilaban de 4" a 5", es decir de 100 a 125 milímetros. Con ello dos materiales han predominado en su construcción, el aluminio y acero estirado, así como bandas de chapa acerada arrolladas en espiral y soldadas para constituir el tubo. Las longitudes medias de estos tubos son de 6 m. y en casos muy extremos para los diámetros anteriores de 9 m.

Modernamente y en el momento actual, el empleo de aspersores de presión media y baja predomina por una mejor distribución del agua en el terreno, menor incidencia del viento y mayor economía en su empleo. Esto ha hecho que aspersores aislados de gran caudal, que exigían tuberías con los diámetros indicados anteriormente, al ser sustituidos por aspersores de baja y media presión, han permitido descender los diámetros en las tuberías a 3", 2" y 1 1/2", según caudales, con las mismas longitudes que los primitivos de mayor diámetro, pero con una mayor utilización de tubos de 9 m., según los sistemas de tendido adoptados en la parcela de riego.

El predominio anterior de diámetros pequeños se ha acentuado en estos tres últimos años, con el empleo de moduladores de caudal instalados en la base del aspersor, que han permitido instalar estas tuberías con longitudes largas de tendido en el terreno, sin la limitación de pérdida de carga entre aspersor de cabeza y final de la línea, no superior al 20 % de la presión nominal de trabajo en boquilla de aspersor. Ventaja que asimismo ha brindado el empleo mencionado de los moduladores de caudal, ha sido permitir tendidos de líneas de aspersores perpendiculares a las curvas de nivel del terreno, en beneficio de abaratar coste de las instalaciones de riego y facilitar la manipulación y cambios de la tubería.

Resumen de lo anterior ha sido, que en el riego por aspersión, se ha presentado en España un empleo acusado y con panorama creciente en los próximos años, de tuberías con pequeños diámetros hasta 1 1/2" para líneas de aspersores y de 1" a 3/4" en derivaciones laterales de la línea de riego. Tendiendo a disminuir al máximo los desplazamientos de línea suministradora por unidad de superficie y en beneficio asimismo de disminuir mano de obra en conexión de tubos y su traslado.

Si a lo anterior unimos las perspectivas que brinda en España, para

aquellas zonas de sus regadíos con predominio cultural hortofrutícola para exportación, el empleo de los riegos de goteo y pulverización, las perspectivas mencionadas anteriormente se amplían. En estos sistemas de riego es base de su constitución tuberías flexibles, de pequeño peso y diámetros de 1/2" y de 3/4", que permiten su fácil instalación en las líneas de cultivo sin dañarlo. Sistemas de riego que pueden implantarse en terrenos sin preparación o nivelación, quedando con ello justificado el interés que presenta contar como material idóneo para este fin el polietileno y que se haya planteado la necesidad de establecer un programa de experiencias, encaminado a conocer las ventajas e inconvenientes de su empleo en las facetas siguientes:

- a) Sobre los gastos de conservación y preparación que exigen los sistemas de riego por aspersión; goteo y pulverización.
- b) Sobre los costes de mano de obra en su manipulación.
- c) Sobre su adaptabilidad a las condiciones del cultivo y a las topográficas del terreno, evitando su preparación o nivelación.
- d) Sobre la incidencia de su favorable factor de rugosidad, en la capacidad de transporte a igualdad de sección.

Son objeto de esta comunicación de las facetas anteriores, el programa de experiencias realizado en España durante estos 3 últimos años sobre las dos primeras, así como el desarrollo de su realización con avance de los resultados obtenidos en esta primera fase y las perspectivas de acción en los programas de investigación aplicada que se acometerán en los próximos 5 años, sobre las posibilidades de mecanización y automatización que expondremos.

Las experiencias que se expondrán, han sido realizadas en íntima conexión del Centro de Estudios Hidrográficos de la Dirección General de Obras Hidráulicas-Ministerio de Obras Públicas, con la Sección de Hidráulica Agrícola del Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas hoy Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.

Programación de las experiencias

Las experiencias se han programado utilizando dos estaciones de ensayo de riegos, sita la primera en la finca «El Encín», Alcalá de Henares, Madrid, perteneciente a la Sección de Hidráulica Agrícola del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias y la segunda en la finca «La Poveda» (Arganda del Rey), Madrid, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en la que actúa en íntima colaboración con el Centro de Estudios Hidrográficos de la Dirección General de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas.

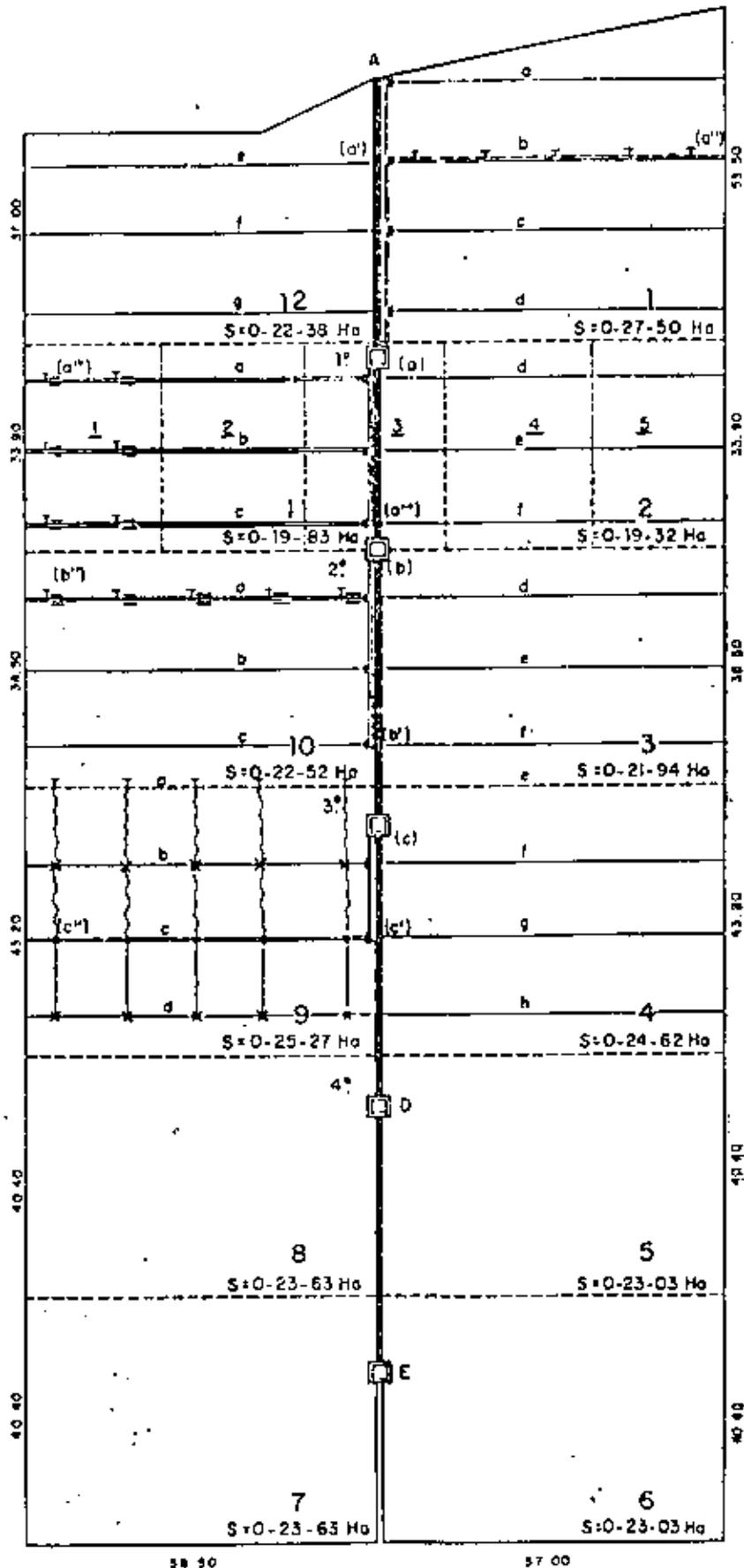
Ensayos en la Estación de Riegos El Encín

Se ha apoyado la programación, en el campo destinado a experiencias sobre riego por aspersión, que dispone la Estación de Riegos, para determinar su eficacia en la distribución o aplicación del agua al terreno y producción de los cultivos siguientes:

Alfalfa.
Cereales de invierno.
Patatas.
Habas para verdeo.
Remolacha azucarera.
Maíz.

Esta unidad de riego que se muestra en la figura número 1, es servi-

INSTALACION DE ENSAYO DE RIEGOS DE "EL ENCIN"



- SEPARACION DE UNIDADES DE RIEGO.
- ==== TUBERIA DE CONDUCCION ENTERRADA.
- TUBERIA MADRE ABASTECEDORA DE ALUMINIO.
- ~~~~~ ALA DE REGADORES RIEGO POR ASPERSION NORMAL.
- ~~~~~ RAMAL DE POLIETILENO Ø 2" CON 5 ASPERSORES A 12 m. Y PROVISTOS DE RUEDAS PARA TRANSPORTE.
- ~~~~~ RAMAL DE POLIETILENO Ø 2" CON 5 SALIDAS PROVISTA DE CODOS MOVILES.
- ~~~~~ TUBERIA DE ALUMINIO Ø 3" CON TOMAS DE CODO MOVIL PARA RAMALES CON PATINES.
- ~~~~~ RAMALES DE POLIETILENO Ø 1" CON PATIN CON ASPERSOR Y 24 m. DE LONGITUD.
- TOMA DE RIEGO.
- POSICIONES DE RIEGO.

FIG. 1

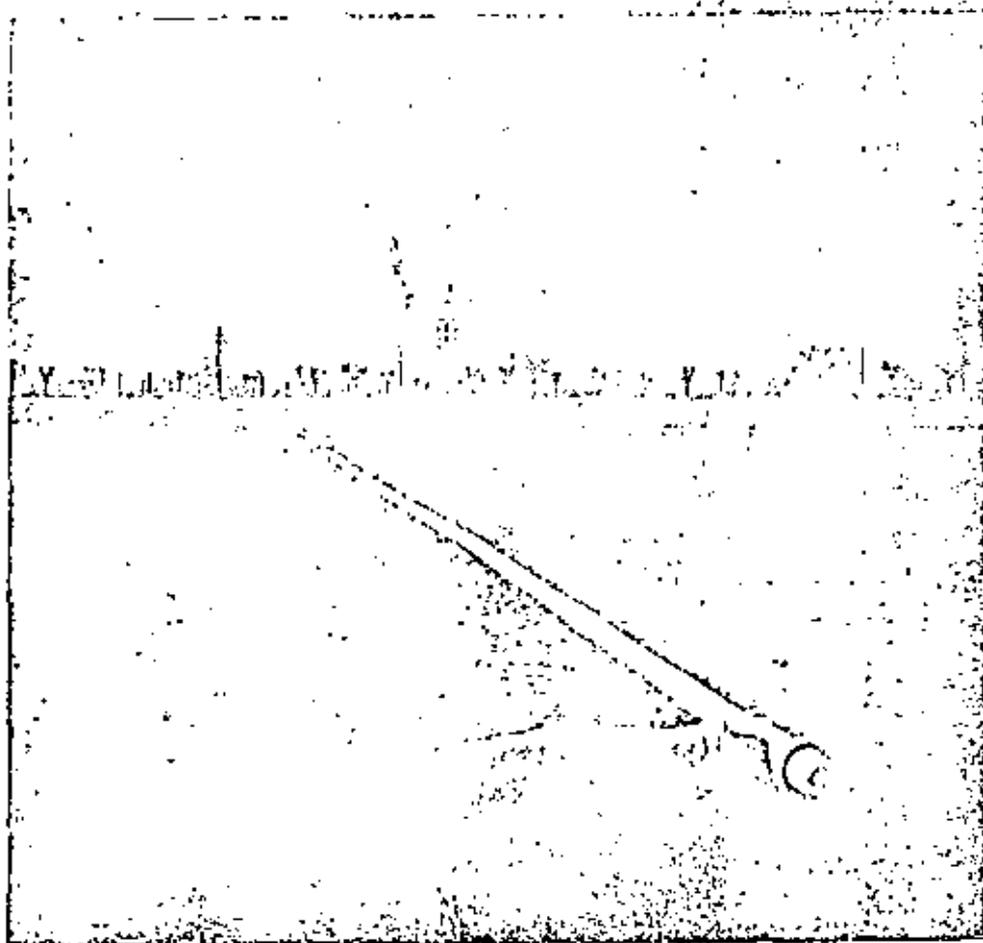
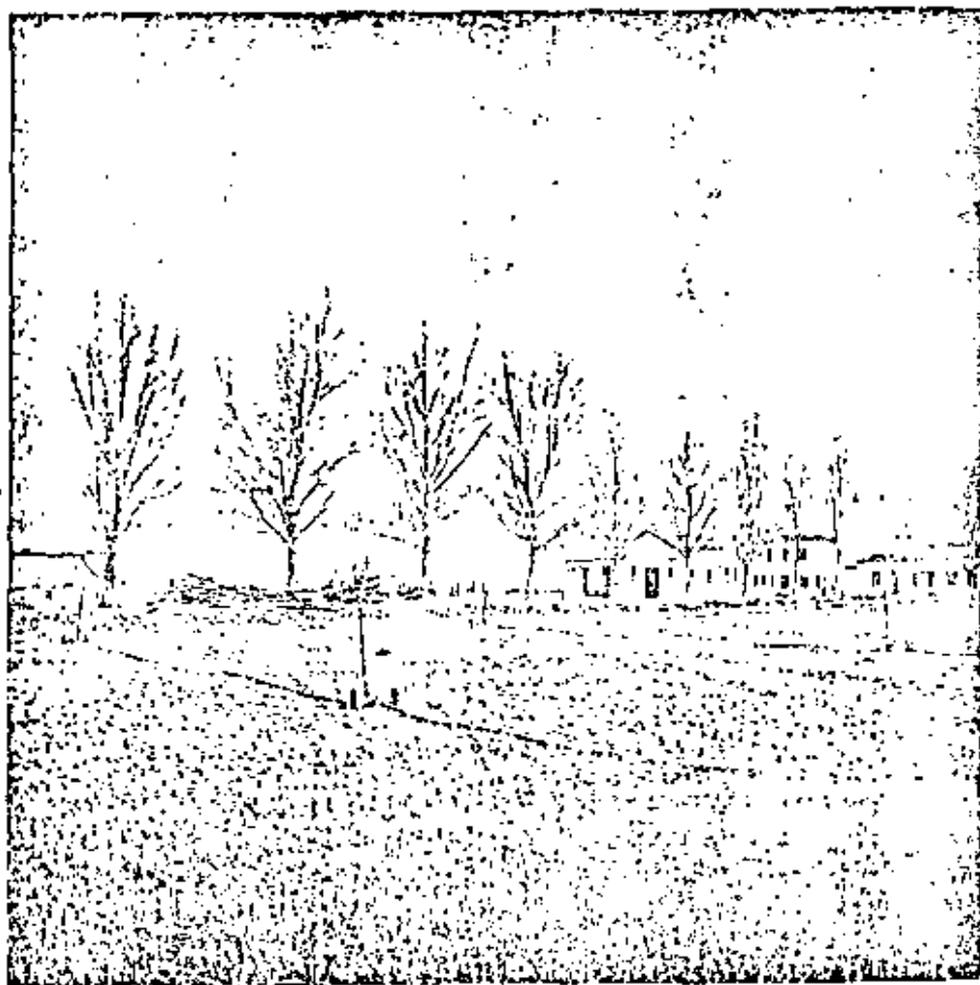


Foto b) Equipo de aspersión con ramales de polietileno \varnothing 1/4" soportando dos
aspersores, cada uno con ruedas



da por la conducción enterrada (a)-(b)-(c)-(d), que alimenta un grupo de bombeo, que toma el agua de un pozo.

Esta conducción va provista de 5 tomas de riego que se señalan en la figura, provistas de modulador de caudal y regulador de presión, a las que se adaptan los equipos de riego por aspersión que se experimentan. Tomas de riego tipo Languedoc, cedidas para el ensayo por el aludido Centro de Estudios Hidrográficos.

La unidad de riego está dividida en 12 parcelas o unidades de acción, cuya superficie y dimensiones se muestran en la figura número 1.

En este campo de riegos el diseño o planteamiento del programa de experiencias ha sido el siguiente:

- a) Respetar los cultivos que se ensayaban para conocer la eficacia del riego por aspersión sobre ellos.
- b) Cada dos unidades de acción que confrontan 1-12, 2-11, 3-10, 4-9, 5-8, 6-7, han estado ocupadas por el mismo cultivo.
- c) El emplazamiento cultural de cada una de las dos unidades anteriores ha variado anualmente.
- d) Asignar para cada cultivo las unidades de riego por aspersión siguientes:

Equipo 1.º) — Equipo de aspersión tradicional con tubería de aluminio de \varnothing 4" en ramal madre o abastecedor y de \varnothing 3" en ramales de aspersores con 5 aspersores y disposición de tendido 12 X 12 metros, para emplear en las Parcelas 1-12 de la figura 1.º.

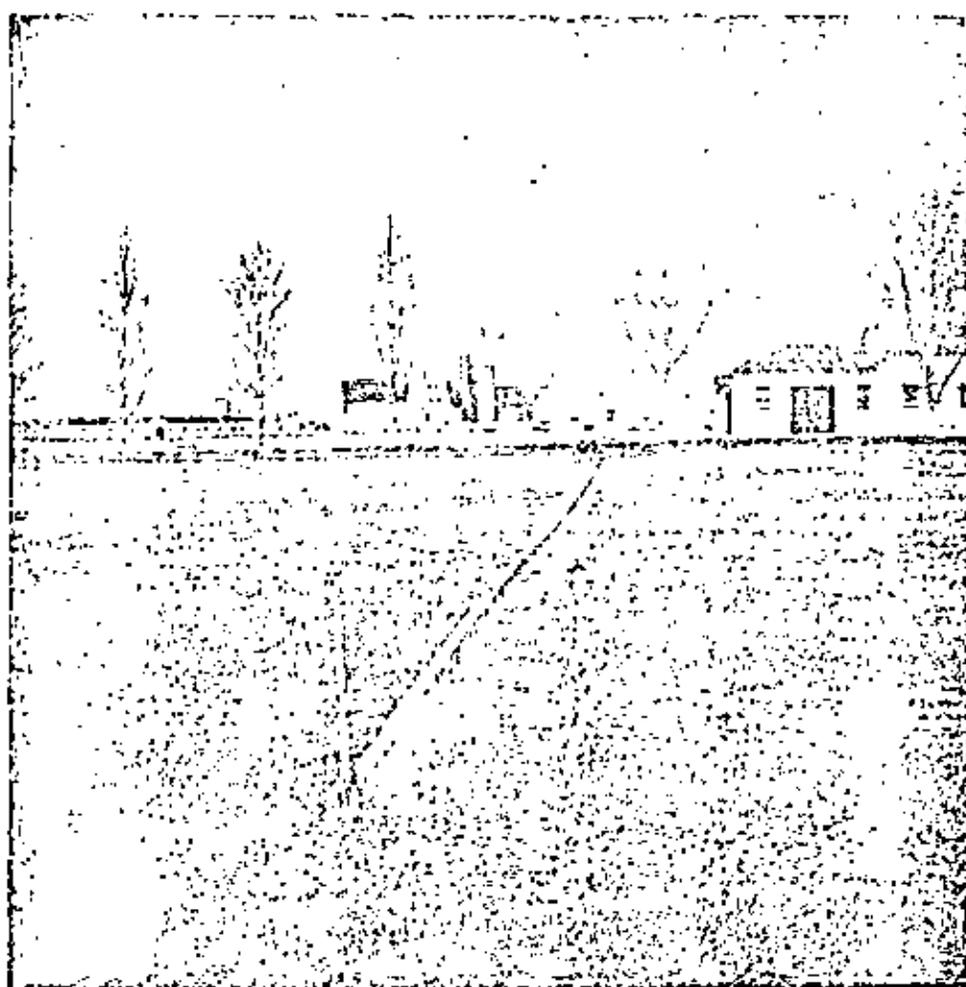


Foto a) Equipo de aspersión normal con tubería de aluminio

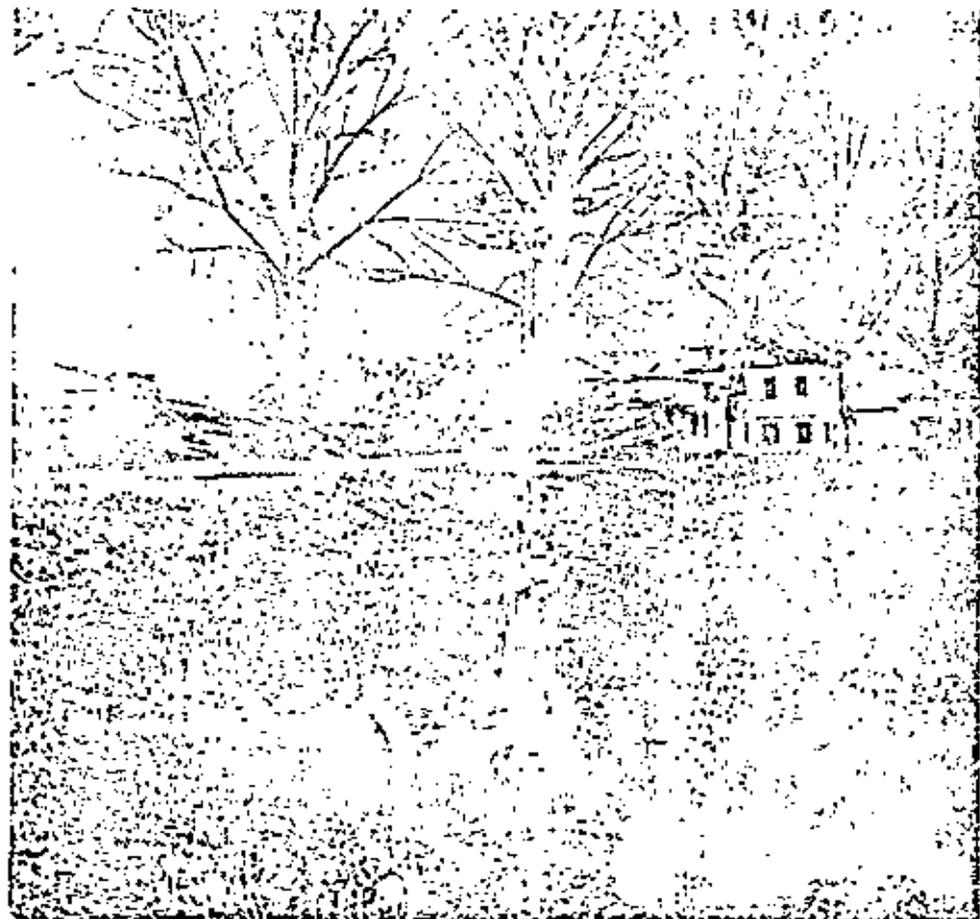


Foto d) Aspersor sobre tubo porta-aspersor para riego de maíz, ampliación detalle foto b)

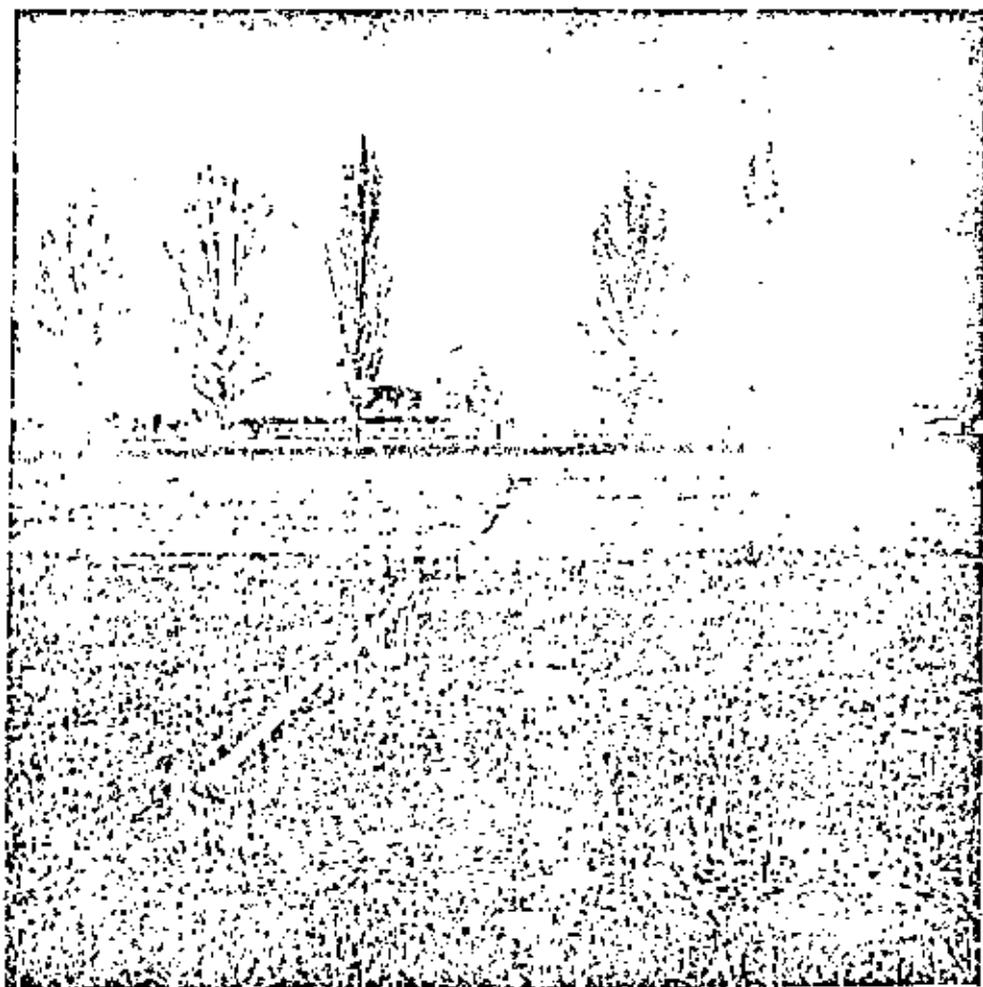


Foto e) Equipo de riego por aspersión con ramales móviles de polietileno \varnothing 2" con 5 aspersores provistos de ruedas



Foto f) Detalle del aspersor con ruedas foto e)

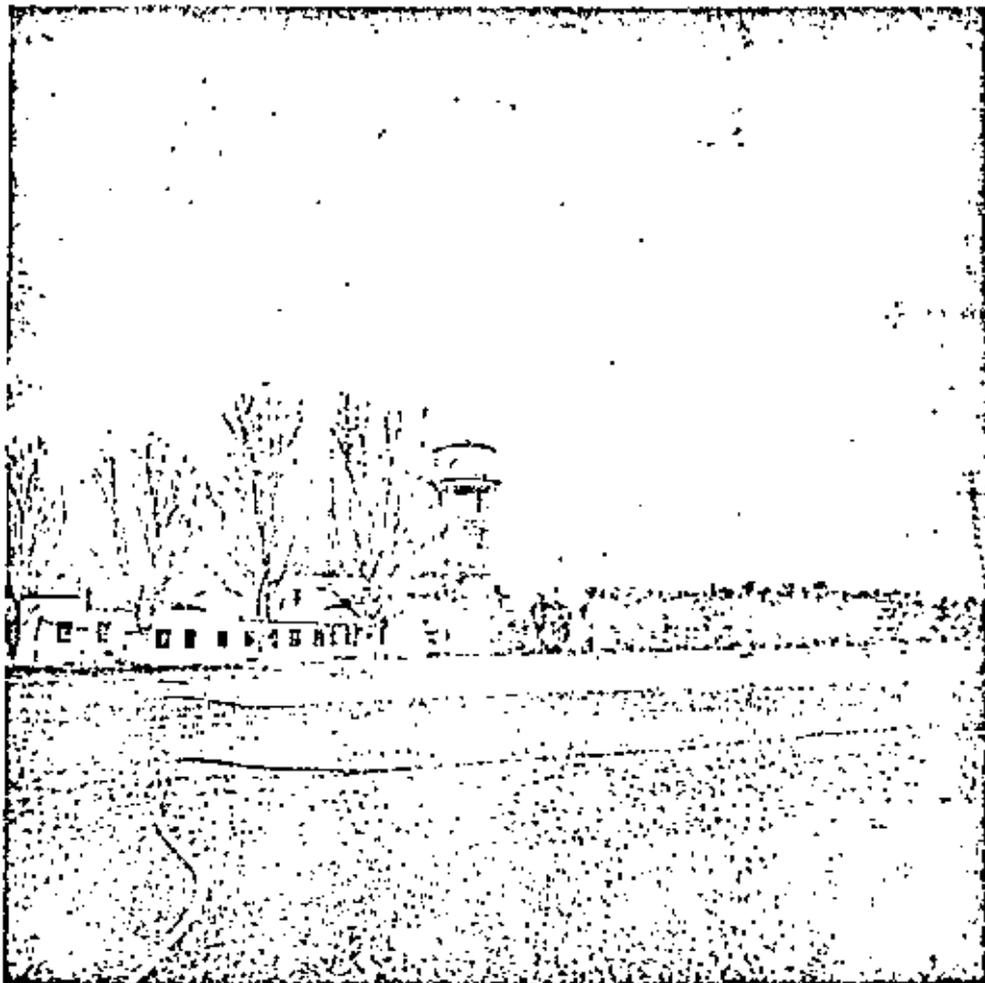


Foto g) Equipo de riego por aspersión ramal móvil abastecedor de polietileno \varnothing 2" y derivadas de \varnothing 1" con aspersor y patin

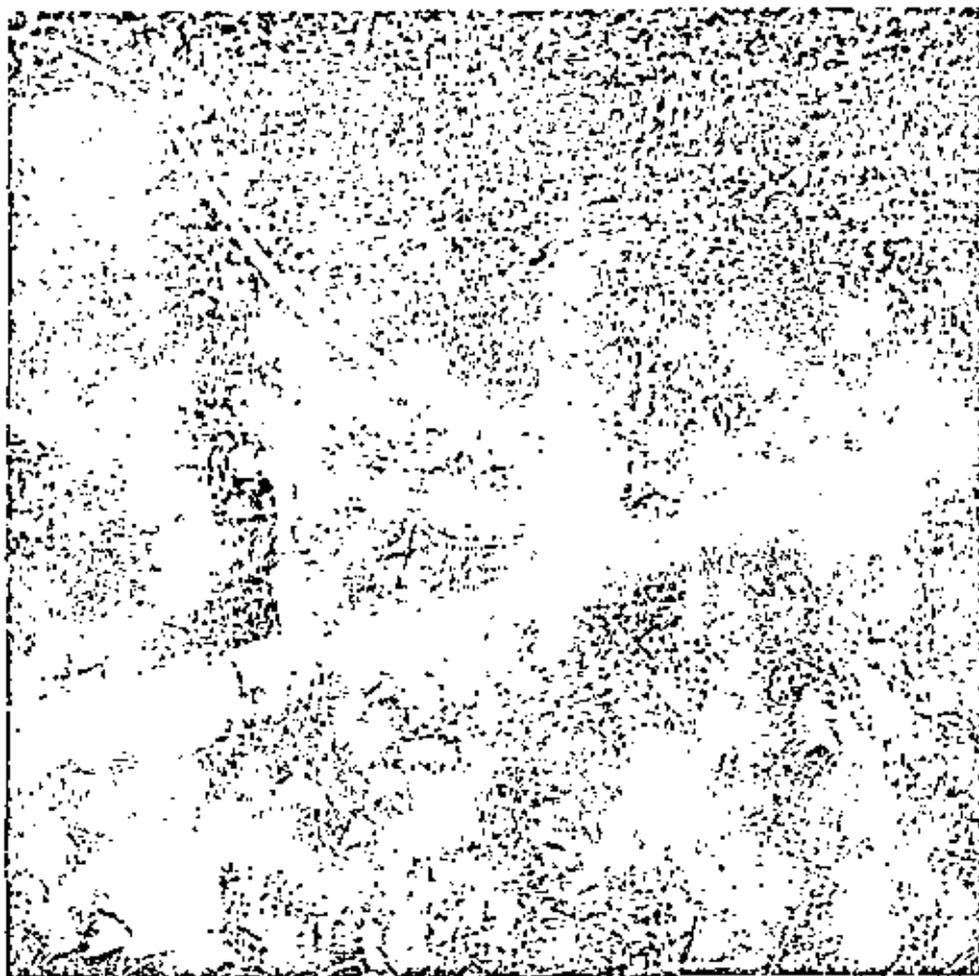


Foto h) Detalle del aspersor con patín y del codo móvil de enlace

Equipo 2.º) — Equipo de riego por aspersión provisto de tubería abastecedora a-a' de la figura 1.º de aluminio de \varnothing 4" y tres ramales de polietileno \varnothing 1 1/4" y 70 m. de longitud, con dos aspersores cada uno en sus extremos y separación de 12 m. provistos de ruedas para su desplazamiento y empleo en riego de maíz. Este equipo atiende las Parcelas 11 y 2 de la figura 1.º.

Equipo 3.º) — Equipo de riego por aspersión provisto de tubería abastecedora b-b' de aluminio \varnothing 4", con un ramal de aspersión de polietileno \varnothing 2" con aspersores a 12 m. y acople rápido para su aplicación. En cada punto donde va instalado el aspersor va la tubería provista de ruedas para su desplazamiento. Este equipo atiende las Parcelas 10-3 de la figura 1.º.

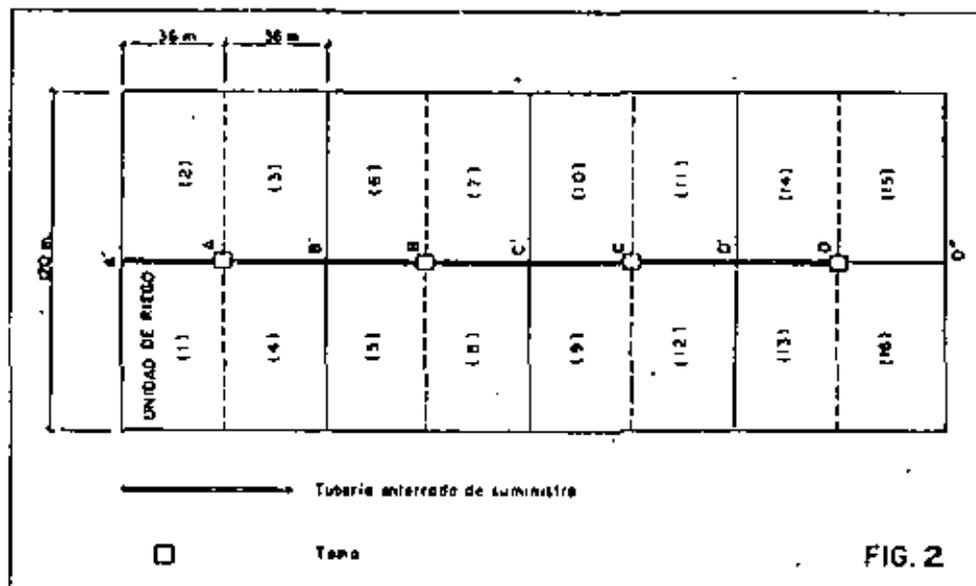
Equipo 4.º) — Equipo de riego por aspersión provisto de tubería abastecedora a-a' de aluminio \varnothing 4" con conducción madre de ella derivada de polietileno \varnothing 2" con acople rápido. De esta conducción derivan ramales de polietileno \varnothing 1" a distancia de 12 m., en cuyo extremo va instalado aspersor con patín. De esta forma cada tendido del ramal de \varnothing 2" representa cubrir 3 posiciones de aspersores a 12 m. y, por tanto, 3 tendidos de líneas de ellos ficticias. Este equipo atiende las Parcelas 9-4 de la figura 1.º.

Las unidades descritas van provistas de 5 aspersores que en conjunto proporcionan 2,65 l/s. Como el caudal unitario adoptado como base del riego es 0,7 l/s./Ha., se puede atender con riego de 24 horas unas 3-80 hectáreas. Estas características son de los Equipos 1-3 y 4'. El 2.º tiene 6 aspersores pero con caudal total similar a los anteriores cifrado en 1,59 m³/hora. Por tanto se señala como superficie de riego que pueden

cubrir 3-45-60 teniendo en cuenta parcelas regulares en base de las longitudes de las alas para establecer el coste por Ha., que es el siguiente:

- Coste del Equipo núm. 1, tal como se ha ensayado, 6.743,34 Pts./Ha.
- Coste del Equipo núm. 2, tal como se ha ensayado, 7.752,89 »
- Coste del Equipo núm. 3, tal como se ha ensayado, 7.490,45 »
- Coste del Equipo núm. 4, tal como se ha ensayado, 8.236,11 »

Estos equipos, como se ha indicado anteriormente, suministran 2,65 litros/segundo y están compuestos de un número similar de aspersores, cubriendo con la longitud de las alas y regularizando los tendidos una superficie de riego total de 3-45-60 Has. De esta forma con la tubería abastecedora disponible de 36 m. y la longitud del ala de riego con 5 aspersores a 12 m. y disposición de tendido entre líneas a 12 m., se actúa en el riego sobre unidades parcelarias de 0-21-60 Has., con la disposición y forma croquizada de la figura número 2. Disposición tomada como base teórica para comparar los resultados.



Para comparar resultados con localización distinta, ensayos con normativa similar, fueron realizados en la Estación de riegos «La Poveda» que lleva conjunta la Dirección General de Obras Hidráulicas y Consejo Superior de Investigaciones Científicas. La diferencia radica en la disposición del campo de riegos que es distinta como muestra la figura número 3. En ella se puede observar que el número de unidades establecidas ha sido de 10 con superficie variable, pero ancho constante de 120 m. Asimismo los cultivos implantados en los ensayos como en el caso de la primera experiencia trigo y cebada, alfalfa, patatas, habas, maíz y remolacha azucarera. En la figura se muestra la instalación de los equipos.

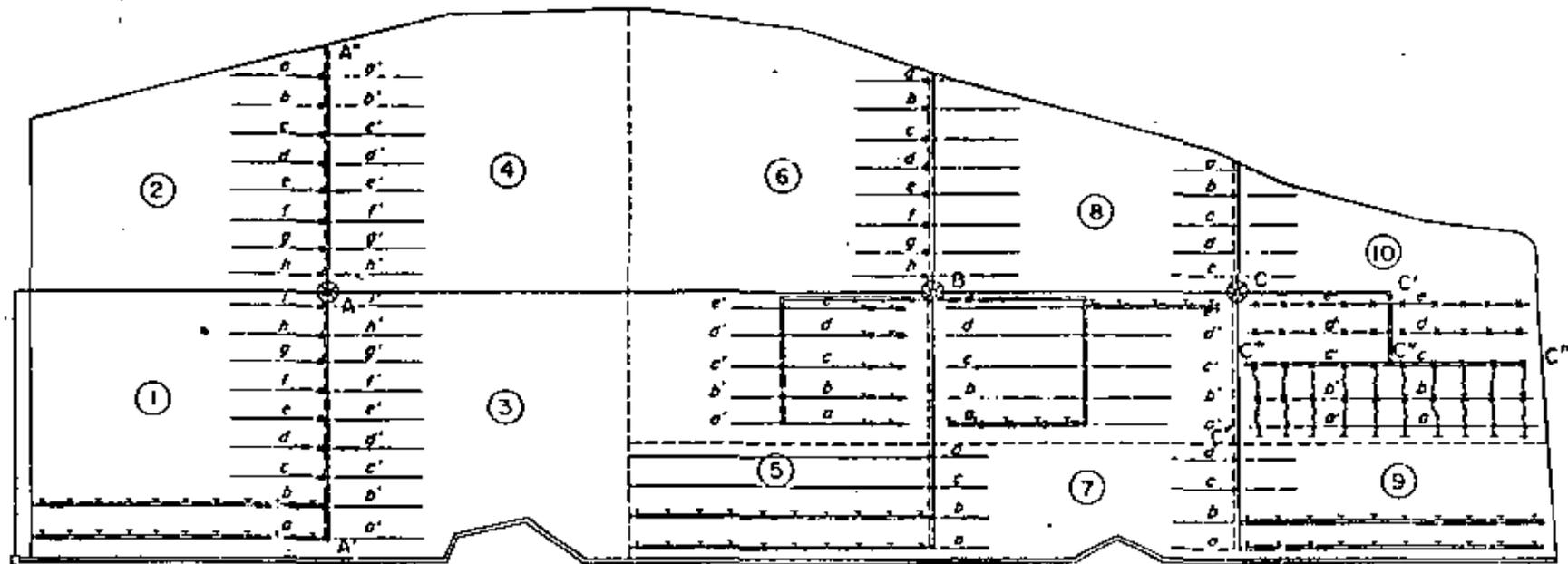
La diferencia esencial es que los equipos estando constituidos de forma similar, poseen 10 aspersores con caudal total horario de 1,91 m³.

Con ello el caudal continuo de suministro es 5,30 l/s., que con necesidad continua ficticia de 0,7 l/s./Ha., señala como superficie de riego que puede dominar cada equipo la de 7-57-00 Has.

Regularizando las unidades parcelarias de riego, que en este caso son de 0-72-00 Has. (120 m. longitud de ala × 5 posiciones a 12 m. = 60 metros), como muestra el croquis de la figura número 4, se adopta como superficie real de riego la de 7-20-00 Has. En esta figura se muestra croquizada la distribución de la superficie en unidades parcelarias de riego.

Los equipos tienen composición similar a los anteriores ensayados en la Estación «El Encín», sólo con la variación de mayor longitud de ala de regadores o mayor número de ramales, debido al número de as-

INSTALACION DE ENSAYO DE RIEGOS DE "LA POVEDA"



- SEPARACION DE UNIDADES DE RIEGO.
- ⊗ TOMA DE RIEGO O HIDRANTE.
- TUBERIA MADRE ABASTECEDORA RIEGO POR ASPERSION NORMAL.
- ALA DE REGADORES RIEGO POR ASPERSION NORMAL.
- TUBERIA ABASTECEDORA RIEGO POR ASPERSION RAMALES DE POLIETILENO.
- RAMAL DE POLIETILENO $\varnothing 2''$ CON 5 ASPERSORES A 12 m. Y PROVISTOS DE RUEDAS PARA TRANSPORTE.
- RAMAL DE POLIETILENO $\varnothing 1\frac{1}{4}''$ CON 2 ASPERSORES A 12 m. Y LONGITUD L = 70 m. PROVISTOS DE RUEDAS PARA TRANSPORTE.
- TUBERIA DE ALUMINIO $\varnothing 3''$ CON TOMAS PARA LOS RAMALES ANTERIORES
- TUBERIA ABASTECEDORA $\varnothing 2''$ CON TOMAS PARA RAMALES DE $\varnothing 1''$ CON PATIN CON ASPERSOR.
- RAMALES DE POLIETILENO $\varnothing 1''$ CON PATIN CON ASPERSOR Y 24 m. DE LONGITUD.
- POSICIONES DE RIEGO.

FIG. 3

persores mayor y paralelamente mayor longitud de tubería abastecedora o madre.

El coste por Ha. de estas unidades calculadas en base de las 7-20-00 hectáreas reales que puede dominar con el riego es el siguiente:

Equipo núm. 1, de tubería de aluminio	5.872 Pts./Ha.
Equipo núm. 2, con ramales de polietileno Ø 2" y aspersores con ruedas a 12 m. en número de 10	7.129 •
Equipo núm. 3, con ramales de polietileno Ø 1 1/2", con dos aspersores con ruedas en número de 5	6.692 •
Equipo núm. 4, con ramal abastecedor de polietileno Ø 2" y 10 ramales de Ø 1" y 24 m. de longitud con aspersor y patín en su extremo final	7.848 •

En la figura número 4, como en el ensayo de «El Encino», se da el croquis regularizado del accionamiento en la superficie, dividida en unidades parcelarias.

Pues bien, en estos ensayos que resumimos para cada Estación de Riego en los Cuadros núm. 1 y núm. 2, realizados durante 3 años consecutivos, se han determinado los datos siguientes:

Gastos de averías y destrucción de material.

Incidencias en su estado y conservación de condiciones climáticas adversas.

Defectos en su utilización racional así como conservación.

Necesidades de mano de obra en transportes de equipo y de líneas de aspersores, así como de remolque o tractor en los casos que se ha utilizado.

El resultado de estos datos valorados por equipo ensayado figuran en los Cuadros núm. 1 y núm. 2, el primero en pesetas y el segundo tomando como base 100 el de aspersión con tubería normal de aluminio.

Se hace la salvedad que los gastos de depreciación e intereses han sido calculados en base de una vida útil media de 10 años con interés 7 % y los de seguros multiplicando el de inversión por el factor 0,01. Para el coste de mano de obra se ha tomado 35 ptas./hora y de tractor con remolque 65 ptas./hora.

Los datos de los cuadros aludidos son bien elocuentes para pensar que la incidencia de ramales de polietileno de fácil manipulación en el riego por aspersión, es una de las directrices acertadas para elevar al máximo la mecanización de su empleo e incluso la automatización del funcionamiento de estas instalaciones.

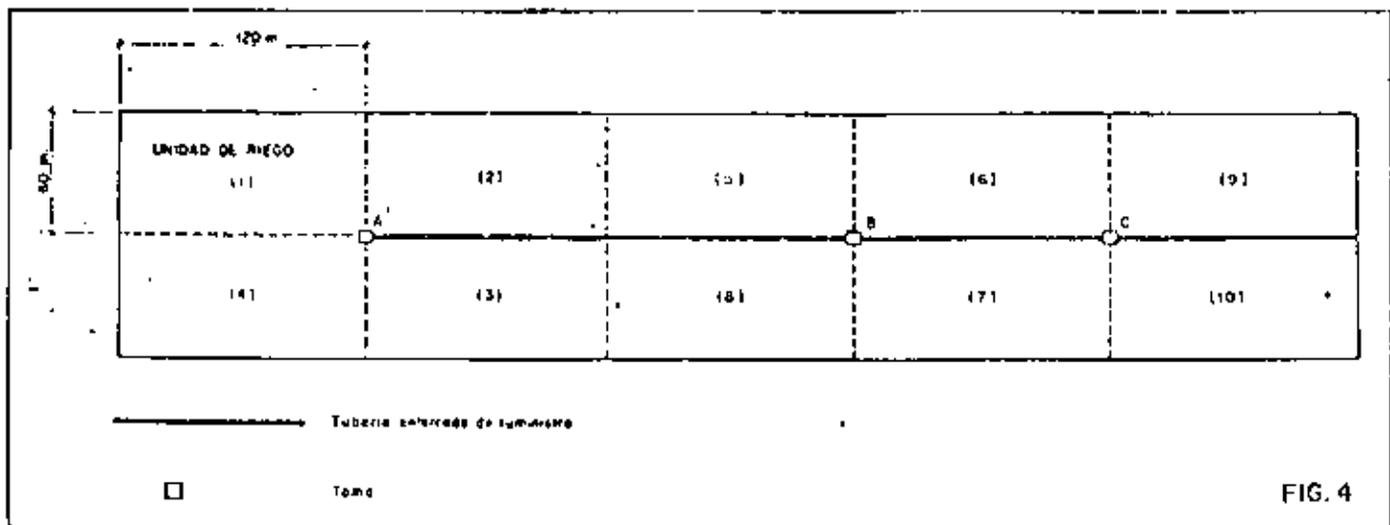


FIG. 4

CUADRO 1

COSTES Y GASTOS POR Ha. DE CADA EQUIPO ENSAYADO

ESTACION DE RIEGOS «EL ENCÍN»

	Coste por Ha. Pesetas	Gastos de depreciación material e intereses. Ptas./año	Gastos de averías y destrucción material. Ptas./3 años Ha.	Horas de hombre en manipulación Ha.	Ptas. manipulación. Ha. (1)	Horas de remolque con tractor. Ha.	Ptas. remolque tractor. Ha. (2)	Gastos (1) + (2) Ha.
Equipo núm. 1. Aspersión normal con tubería de aluminio	6.743,34	977,78	953,70	3 horas 29'	133,58	—	—	133,58
Equipo núm. 2. Ramales de polietileno Ø 1/1/4" con 2 aspersores y ruedas	7.752,89	1.124,16	169,56	3 horas 9'	110,25	—	—	110,25
Equipo núm. 3. Ramales de polietileno Ø 2" con 5 aspersores y ruedas	7.490,45	1.086,11	222,51	3 horas 13'	112,58	—	—	112,58
Equipo núm. 4. Ramales de polietileno Ø 1" con patín y aspersor ...	8.236,11	1.194,23	186,63	2 horas 25'	84,58	—	—	84,58

ESTACION DE RIEGOS «LA POVEDA»

Equipo núm. 1. Aspersión normal con tubería de aluminio	5.872,22	851,47	912,63	4 horas 21'	152,25	10'	10,83	163,08
Equipo núm. 3. Ramales de polietileno Ø 1/1/4" con 2 aspersores y ruedas	7.129,16	1.033,72	13,88	3 horas 20'	116,66	8,6'	9,53	126,19
Equipo núm. 2. Ramales de polietileno Ø 2" con 5 aspersores y ruedas	6.692,50	970,40	76,38	3 horas 36'	126,00	8,4'	9,16	135,16
Equipo núm. 4. Ramales de polietileno Ø 1" con patín y aspersor ...	7.848,88	1.138,07	82,63	2 horas 35'	90,41	8,2'	8,88	99,29

Observación: En la Estación de La Poveda está cambiado el orden de numeración de los Equipos en el Cuadro, por corresponder el Equipo 3 de ella al Equipo 2 de la Estación El Encín y el Equipo núm. 2 de La Poveda al núm. 3 de El Encín.

CUADRO 2

INDICES DE COSTES Y GASTOS DE CADA EQUIPO CON BASE 100 EL DE ASPERSION (EQUIPO NUM. 1), DE CADA ESTACION DE RIEGOS
ESTACION «EL ENCIN»

	<i>Coste Ha.</i>	<i>Gastos depreciación e intereses</i>	<i>Gastos de averías y destrucción material</i>	<i>Gastos de manipulación y transporte por riego</i>
Equipo número 1. Aspersión normal con tubería de aluminio ...	100	100	100	100
Equipo número 2. Ramales de polietileno con 2 aspersores y ruedas ...	115	115	18	62,50
Equipo número 3. Ramales de polietileno Ø 2" con 5 aspersores y ruedas ...	111	111	23	84
Equipo número 4. Ramales de polietileno Ø 2" con patín y aspersor ...	122	122	19,5	63

ESTACION «LA POVEDA»

Equipo número 1. Aspersión normal con tubería de aluminio ...	100	100	100	100
Equipo número 3. Ramales de polietileno Ø 1/1/4" con 2 aspersores y ruedas ...	121	121	1,5	77
Equipo número 2. Ramales de polietileno Ø 2" con 5 aspersores y ruedas ...	114	114	8	83
Equipo número 4. Ramales de polietileno Ø 2" con patín y aspersor ...	134	134	9	61

Resultados que inclinan como equipo más favorable de utilización el Equipo número 4, con gastos de averías y destrucción de material bajos.

Asimismo que todos los Equipos de polietileno restantes 2-3, tienen resultados favorables respecto a la aspersión normal Equipo número 1, en los conceptos anteriores.

En cambio el coste de implantación por Ha. y los gastos correspondientes de depreciación e intereses, son favorables al Equipo número 1, aspersión normal. Resultado no representativo, pues el polietileno no tiene fabricación de volumen en España para que su precio sea competitivo, por ser su empleo reciente, así como ser de importación la mayoría de las piezas y aditamentos que precisa su utilización.

Las tendencias de los modernos sistemas de riego introducidos, que siendo base el aspersor, su diseño constructivo varía y que describiremos a continuación, se han centrado en reducir costes de labor y mejorar la efectividad que posee el riego por aspersión. Ahora bien, estas tendencias, independientes de la solución expuesta anteriormente de empleo de tuberías de fácil manipulación y mecanización en su desplazamiento, exigen o bien ir a sistemas más permanentes con un mayor empleo de tubería y equipo o la mecanización al máximo posible de algunos componentes del mismo.

Las dos soluciones obligan a que su implantación parta del hecho de que realizarla es sustituir capital por trabajo. Sin embargo, la mecanización ofrece considerables ahorros en labor, frente a incrementos de capital en su implantación muy pequeños, que en el caso de sistemas estables o permanentes, precisa inversiones de establecimiento elevadas.

Un ejemplo previo a la descripción de sistemas que daremos a continuación muy resumida, ya que en caso contrario se haría interminable la conferencia, son los datos que doy a continuación de la Estación de Riegos de Davis, California, sobre necesidades en mano de obra por hectárea, para desplazar una tubería de 420 m. de longitud en riego por aspersión, manual o mecánicamente.

Movida a mano	80 minutos
Movida a mano, tubería soportada por ruedas	32 - "
Movida con motor, tubería soportada por ruedas	36 - "
Movida con tractor y remolque	27 - "

El examen de los datos anteriores prueba que el uso de remolque con tractor en los desplazamientos de tubería de aspersión, ahorra aproximadamente 2/3 de la mano de obra necesaria trasladada manualmente. Este uso es de empleo amplio en Nebraska (E. U. A.) y en España muestra casos clásicos, especialmente en La Mancha (Ciudad Real).

Una demostración realizada por Mulliner en 1959, con un sistema de soporte sobre patines, que describiremos a continuación, da una necesidad de 26 de hombre y tractor para desplazar longitud de tubería similar a la anterior.

Es indudable que factor importante en el uso del riego por aspersión, es el tipo de trabajo preciso y la dificultad relativa que plantea el movimiento de la tubería de aspersores. Por ejemplo, el caso de desplazamiento de tubería a través de maíz, ha presentado en algunos casos tales dificultades, que ha planteado en algunas zonas la premisa de ser antieconómico el empleo de este sistema para el cultivo aludido.

Pues bien, centrados en lograr una mecanización máxima en el desplazamiento de las líneas de aspersores y automatización en la realización del riego, disminuyendo desplazamientos y, por tanto, cambios que obligan a la paralización del suministro de agua, han surgido en el transcurso de estos últimos años modernos sistemas de riego aunque con base el aspersor, que podemos condensar como sigue:

- a) Sistemas con líneas de aspersores soportadas sobre dispositivos con patín, foto i). SKID-TOW LINE, nombre en E. U. A.
- b) Sistemas de desplazamiento rodado lateral, foto j), SIDE-ROLL, nombre en E. U. A.
- c) Sistemas de movimiento lateral modificado en base de soporte remolque SIDE-MOVE TOW, nombre en E. U. A, foto n).
- d) Sistemas tipo pluma BOOM-TYPE, nombre en E. U. A., foto l).
- e) Sistemas autopropulsados SELF-PROPELLED, o sistemas PIVOT, nombre en E. U. A., foto m).
- f) Sistemas de aspersor gigante sobre patín SKID-GIANT SPRINKLER, nombre en E. U. A., foto n).

Estos sistemas que tienen en la relación anterior el nombre asignado a ellos en su país de origen (E. U. A.), presentan campos de aplicación

Este sistema es una modificación del anterior, que radica en no ser la tubería eje de las ruedas, sino que es soportada por éstas y arrastra al mismo tiempo unos ramales articulados de tubería con aspersores, ampliando de esta forma la superficie que se cubre en cada posición, exigiendo menor número de posiciones en el riego y, por tanto, menor número de desplazamientos, aunque a mayor distancia.



Foto j) Sistema SIBC-ROLL

Normalmente estas unidades pueden cubrir en cada posición de riego, superficies de 2 Has., con disposiciones de los aspersores 9×15 metros. Esto representa longitudes máximas de línea principal alrededor de 400 metros.

Para cambios normales a los desplazamientos de las alas de riego, se giran las ruedas en esta dirección arrastrando la unidad con motor auxiliar o tractor. Asimismo para el desplazamiento lateral se utiliza motorcito auxiliar colocado en uno de sus extremos con potencia próxima a 5 C. V.

Este sistema admite riego de maíz, elevando la línea abastecedora que soportan las ruedas.

La foto k) muestra este sistema.

Equipo de riego tipo pluma BOOM-TYPE.

En este sistema los aspersores o boquillas distribuidoras, van instaladas en un bastidor con ruedas o éste sobre tractor, el cual se utiliza al mismo tiempo para transportar secciones de la línea lateral de tubería que es añadida o recogida con el movimiento progresivo del bastidor de aspersores a través del campo, desde la fuente de suministro.

Estos equipos comercialmente tienen longitudes de alas de riego que oscilan de 24 a 75 m., pudiendo actuar sobre zonas de riego o mejor dicho unidades de riego que oscilan de 0-35-00 Has. a 2 Has. por posición.

Los equipos de riego del sistema descrito se construyen normalmente de 42 a 54 m. de ala de riego, pudiendo cubrir superficies por posición de 0-50-00 Has., a 1 Ha., con riegos de 12 mm./hora.

En el caso de riego con el sistema de cultivos en surcos, las líneas de arrastre deben ser previstas en la dirección de los surcos y, por tanto, la de abastecimiento principal normal a ellas.

Por último los radios de alcance en la distribución del agua oscilan

distintos con arreglo a pluviometría a proporcionar y cultivos que deben atender.

Daremos de estas unidades un resumen de sus características medias y costes de implantación según pluviometrías que pueden proporcionar y superficies que pueden atender, unidos a los que estas inversiones representan por Ha., así como gastos anuales fijos, CV-hora por hectárea y volúmenes anuales de riego de 3.000 m³, con las horas de labor necesarias que precisa su manipulación en el riego. Estos datos, con el fin de poder establecer la perspectiva que brinda la mecanización de estos sistemas de riego y señalar las limitaciones de aplicación que presentan.

La descripción de estos sistemas es como sigue:

Equipo de riego con línea de aspersores sobre soporte-patín-SKID-TOW LINE.

Este sistema consiste en una línea de tubería que comporta los aspersores, con uniones normales no rígidas, soportada a intervalos regulares por un bastidor provisto de dos patines, que permite su arrastre sobre el terreno con tractor y mantener verticales los aspersores. Esta disposición se muestra en la figura i).

La máxima longitud de tubería que admite el sistema es de 390 a 400 m. y se desplaza remolcada por tractor de un lado a otro de la línea principal de suministro abastecedora, que es central.

Sirve el sistema para cultivos forrajeros, de gramíneas o leguminosas, como asimismo cultivos de surcos, siempre que a lo largo de la tubería principal abastecedora se deje una faja de terreno sin cultivar con ancho de 75 m. Los terrenos arenosos pueden no ser apropiados para el sistema, al producir desgaste excesivo de la tubería en el arrastre.

Equipo de riego con línea de aspersores que se traslada rodando lateralmente SIDE-ROLL LATERAL.

En este sistema, la línea de aspersores que se traslada de posición rodándola lateralmente permanece estacionaria durante el riego. Asimismo esta línea lateral es utilizada como eje de ruedas metálicas de 2,50 metros de diámetro y separadas 12 m., que sirven para desplazar la tubería haciéndola rodar.

Estas unidades pueden ser accionadas en el desplazamiento manualmente, pero lo normal es hacerlo con motorcito auxiliar colocado en uno de sus extremos o con tractor. La longitud está limitada a 386 m.

Estos sistemas se adaptan favorablemente para el riego de cultivos de siembra cerrada y cultivos en surcos pero de pequeño porte. Asimismo el desplazamiento lateral del ala de riego se realiza con soportes de patín arrastrados por tractor, colocados a distancias de 12 m. La figura no muestra el ala de riego de este sistema.

Equipo de riego combinación de línea de aspersores que se traslada rodando lateralmente y remolque de línea supletoria. SIDE-MOVE TOW.

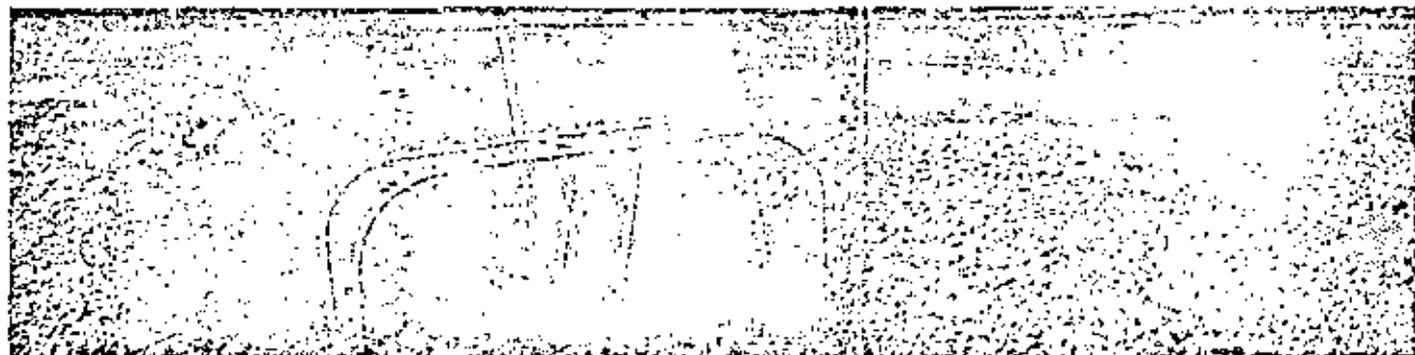


FOTO i) Sistema SKID-TOW-LINE

de 40 a 45 m. El traslado mecánico de estas unidades puede realizarse de una posición a otra por tractor y en las posiciones de riego desde una misma toma, la misma unidad se acciona por cable unido a un tambor accionado hidráulica o mecánicamente. La foto 1) muestra este sistema

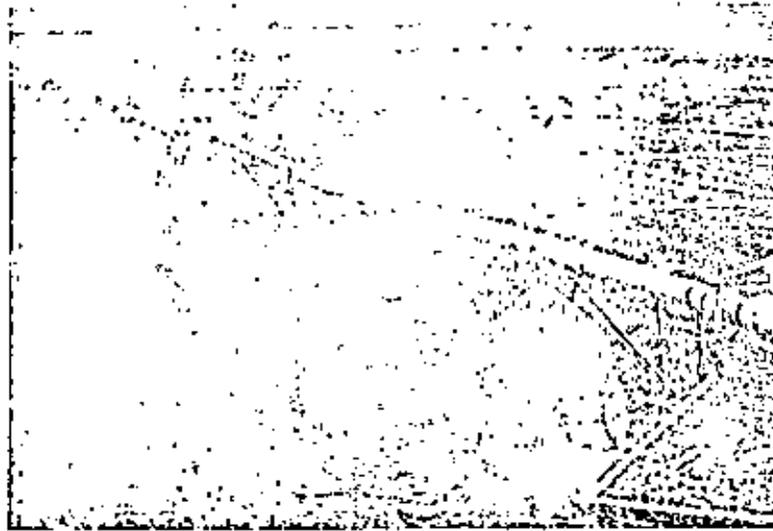


Foto k) Sistema SIDE-MOVE-TOW

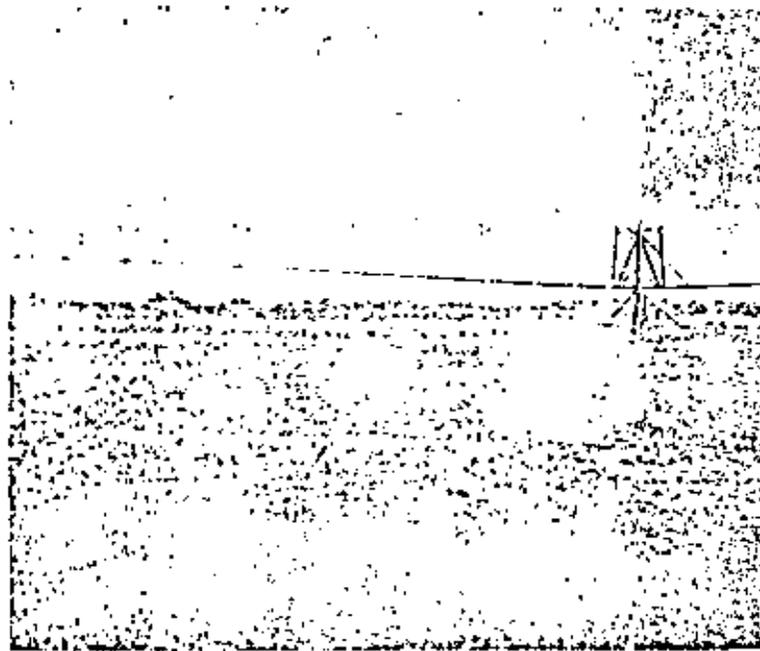


Foto l) Sistema WHEEL-TYPE

Equipos de riego auto-propulsados SELF-PROPELLED.

Estos sistemas difieren de los descritos anteriormente, en que su movimiento es automático, girando alrededor de un punto que conecta con línea principal abastecedora. El accionamiento de estas unidades puede ser hidráulico o eléctrico.

El sistema presenta las dificultades de cubrir zonas de riego circulares y que necesita un equilibrado hidráulico adecuado del suministro de agua por los aspersores a lo largo de la línea, que se logra con aumento del diámetro de boquillas y presiones adecuadas en ellas, ya que a medida que se alejan del punto de giro, cubren mayor superficie.

Presentan en cambio las ventajas de poderse implantar con una total automatización en el riego, máxima mecanización de los cultivos y

poder suministrar amplia gama de pluviometrías horarias acordes con los cultivos y estado de desarrollo. Esto con sólo variar la velocidad de giro y asimismo poder regar sectores parciales del círculo que cubre e invertir su desplazamiento. Son, en cambio, unidades de riego estables y pueden cubrir radios de 120 a 400 m. y superficies de 6 a 80 Has.

Son sistemas de adaptación óptima a terrenos arenosos y de pendientes suaves que no deben exceder del 5% y pueden aplicarse intensidades pluviométricas instantáneas de 3 a 25 mm./hora. La foto m) muestra este sistema, que puede ser aplicado a toda la gama de cultivos.



Foto m) Sistema VEEB - PROPELLED - PIVOT

Equipo de riego con aspersor gigante sobre patín SKID GIANT SPRINKLER.

Este sistema es en base de aspersores gigantes, con capacidad de 375 a 2.200 l.p.m., y radios de alcance de 30 a 36 m., montados sobre soportes con patines, para desplazarlos sobre el terreno, el accionamiento para esta operación puede ser manual o automático.

Normalmente se colocan en tandem enlazados a la tubería principal abastecedora, con separaciones de 60 a 72 m., pudiendo desplazarse a derecha e izquierda de línea de suministro mencionada, actuando manualmente o bien mecánicamente accionando una polea situada en la línea de tubería principal.

Este sistema proporciona elevadas pluviometrías horarias, siendo por tanto apto para terrenos de alta permeabilidad, exigiendo asimismo elevadas presiones de trabajo y topografía de terreno con pendientes suaves y uniformes.

La foto n) muestra el equipo aludido en acción.

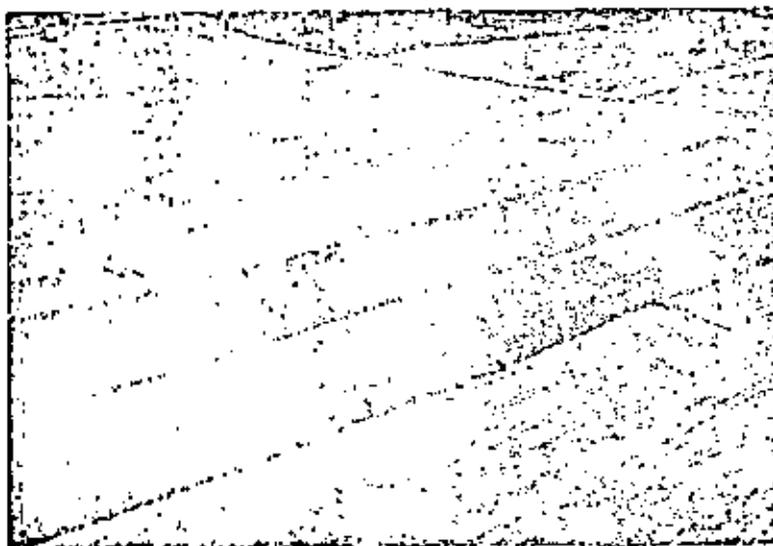


Foto n) Sistema SKID - GIANT - SPRINKLER

CUADRO 2

ACTERISTICAS DE COSTES Y MOVIMIENTO MECANICO DE LOS SISTEMAS DESCRITOS CON SUS POSIBILIDADES DE IMPLANTACION Y LIMITACIONES

	SELF-PROPELLED 37 mm./hora	SKID GIANT SPRINKLER 16 mm./hora
	<i>Características de los sistemas</i>	
Superficie que atiende	75 Has.	75 Has.
Longitud de tubería madre y Ø	384 mts. de 150 mm.	360 mts. de 200 mm.
Longitud de tubería de aspersores y Ø	1	360 mts. de 200 mm.
Número de líneas de aspersores	41	1
Número de aspersores	23,846	2
Coste de implantación por Ha.	2,246	7,674
Costes anuales fijos por Ha.	793	831
C.V. horas por Ha. y volumen anual de 3.000 m. ³ /Ha.	0,13 horas	897
Mano de obra total en horas		0,34 horas
<i>Adaptación y limitaciones</i>		
Suelo	Suelos arenosos.	Suelos arenosos.
Cultivo	Todos los cultivos.	Todos los cultivos.
Adaptabilidad especial	Elimina nivelaciones.	Especial para cultivos en surcos.
Limitación especial	Pendientes superiores al 5 por 100.	

CUADRO 3

CARACTERISTICAS DE COSTES Y MOVIMIENTO MECANICO DE LOS SISTEMAS DESCRITOS CON SUS POSIBILIDADES DE IMPLANTACION Y LIMITACIONES

	SKID-TOW Pluviómetros horarias		
	6 mm./hora	9 mm./hora	12 mm./hora
<i>Características de los sistemas</i>			
Superficie que atiende	75 Has.	75 Has.	75 Has.
Longitud de tubería madre y Ø	252 mts. de Ø 200 mm. 522 mts. de Ø 150 mm.	378 mts. Ø 200 mm. 398 mts. Ø 150 mm.	774 mts. Ø 200
Longitud de tubería de aspersores y Ø	384 mts. de 100 mm.	584 mts. Ø 125 mm.	384 mts. Ø 125
Número de líneas de aspersores	6	4	3
Número de aspersores	33	33	33
Coste de implantación por Ha.	16,910	15,646	14,383
Costes anuales fijos por Ha.	1,595,70	1,468	1,361
C.V. horas por Ha. y volumen anual de 3.000 m. ³ /Ha.	606	640	638
Mano de obra total en horas por Ha.	0,40 horas	0,40 horas	0,40 horas
<i>Adaptabilidad y limitaciones</i>			
Suelo	Todo tipo de suelo.	Suelos medios.	Suelos arcillosos.
Cultivo	Cualquier cultivo.	Cualquier cultivo.	Cualquier cultivo.
Adaptabilidad especial	En especial para cultivos en surcos.	En especial para cultivos en surcos.	En especial para cultivos en surcos.
Limitación especial.			

CUADRO 3

CARACTERÍSTICAS DE COSTES Y MOVIMIENTO MECANICO DE LOS SISTEMAS DESCRITOS CON SUS POSIBILIDADES DE IMPLANTACION Y LIMITACIONES

	SIDE - ROLL		
	6 mm./hora	9 mm./hora	12 mm./hora
<i>Características de los sistemas</i>			
Superficie que atiende	75 Has.	75 Has	75 Has.
Longitud de tubería madre y \varnothing	252 mts. de 200 mm. 522 mts. de 150 mm.	378 mts. de 200 mm. 396 mts. de 150 mm.	874 de 200
Longitud de tubería de aspersores y \varnothing	384 mts. de \varnothing 100	384 mts. de 125	384 de 125
Número de líneas de aspersores	6	4	3
Número de aspersores	33	33	33
Coste de implantación por Ha.	30.106	23.625	20.651
Costes anuales fijos por Ha.	2.829	2.234	1.956
C.V. horas por Ha. y volumen anual de 3.000 m ³ /Ha.	606	646	638
Mano de obra total en horas por Ha.	0,40	0,40	0,40
<i>Adaptabilidad y limitaciones</i>			
Suelo	Todo tipo de suelo.	Suelos medios.	Suelos arenosos
Cultivo	Excepto cultivos porte alto.	Excepto cultivos porte alto.	Suelos arenosos
Adaptabilidad especial	No sirve para maíz y cultivo frutal.	No sirve para maíz y cultivo frutal.	
Limitación especial.			

CUADRO 3

CARACTERÍSTICAS DE COSTES Y MOVIMIENTO MECANICO DE LOS SISTEMAS DESCRITOS CON SUS POSIBILIDADES DE IMPLANTACION Y LIMITACIONES

	SIDE-MOVE TON COMBINATION	
	6 mm./hora	9 mm./hora
<i>Características de los sistemas</i>		
Superficie que atiende	75 Has.	75 Has.
Longitud de tubería madre y Ø	774 mts. Ø 200 mm.	774 mts. Ø 200 mm.
Longitud de tubería de aspersores y Ø	387 mts. Ø 150 mm.	387 mts. Ø 150 mm.
Número de líneas de aspersores	2	2
Número de aspersores	132	132
Coste de implantación por Ha.	35.689	32.119
Costes anuales fijos Ha.	3.363	3.025
C.V. horas por Ha. y volumen anual de 3.000 m. ³ /Ha.	653	674
Mano de obra total en horas	0,51 horas	0,27 horas
<i>Adaptabilidad y limitaciones</i>		
Suelo	Todo tipo de suelo.	Suelo limo-arenoso.
Cultivo	Excepto cultivos altos.	Cultivos forrajeros y en surcos de porte bajo.
Adaptabilidad especial	No se adapta a maíz y frutales.	No se adapta a maíz y frutales.

CUADRO 3

CARACTERÍSTICAS DE COSTES Y MOVIMIENTO MECANICO DE LOS SISTEMAS DESCRITOS CON SUS POSIBILIDADES DE IMPLANTACION Y LIMITACIONES

	BOOM		
	De 24 mts. 9 mm./hora	De 42 mts. 12 mm./hora	De 54 mts. 16 mm./hora
<i>Características de los sistemas</i>			
Superficie que atiende	75 Has.	75 Has.	75 Has.
Longitud de tubería madre y Ø	72 mts. de 150 mm. 576 mts. de 125 mm.	648 mts. de 125 mm.	162 mts. de 200 mm. 486 mts. de 150 mm.
Longitud de tubería de aspersores y Ø	360 mts. de 125 mm.	360 mts. de 125 mm.	351 mts. de 150 mm.
Número de líneas de aspersores	5	4	3
Número de aspersores	1 BOOM	1 BOOM	1 BOOM
Costes de implantación por Has.	14.823	16.125	17.102
Costes anuales fijos Ha.	1.402	1.517	1.610
C.V. horas por Ha. y volumen anual de 3.000 m. ³ / Ha.	823	814	762
Mano de obra total en horas	1,38 horas	1,40 horas	1,30 horas
<i>Adaptabilidad y limitaciones</i>			
Suelo	Suelos medios.	Suelos arenosos.	Suelos arenosos.
Cultivo	Cualquier cultivo.	Cualquier cultivo.	Cualquier cultivo.
Adaptabilidad especial	Cultivos altos.	Cultivos altos.	Cultivos altos.
Limitación especial	Especial para cultivos en surcos.	Especial para cultivos en surcos.	Especial para cultivos en surcos.

Es en estos dos últimos sistemas únicamente donde la automatización total del riego es factible, y siempre que el suministro de agua no esté sujeto a turnos o entregas con variabilidad.

De todos los sistemas antes descritos damos en el Cuadro núm. 3 costes comparativos de instalación, fijos anuales y de mano de obra que precisan.

Por último es sistema para automatización total aquel en que la tubería de aspersores es totalmente permanente, al estar enterrada, o semi-permanente permaneciendo al menos estable sobre el terreno, toda la campaña de riego.

En estos últimos sistemas, la operación de puesta en servicio y parada, puede ser realizada automáticamente por el uso de válvulas solenoide de control o válvulas de control de accionamiento hidráulico. En este último caso, hay que actuar con dosificadores de caudal de entrega en cabeza de red, que deben ser accionados manualmente después de su parada automática.

Es imposible describir toda la gama de válvulas y dispositivos de control existentes para la automatización del riego en la conferencia, máxime al haberla centrado en el panorama de aplicación que tiene la mecanización y automatización del riego, líneas que existen para ello y sistemas en uso con sus ventajas e inconvenientes así como incidencia en los costes de funcionamiento. Lo anterior como base para señalar conclusiones y premisas que deben fijarse para iniciar su extensión en nuestros regadíos.

Cierro la exposición de *otros sistemas de riego*, mencionando aquellos que han iniciado su implantación en aquellas zonas hortofrutícolas de nuestros regadíos, conocidos por goteo y pulverización.

Ensayos con los sistemas indicados, se han iniciado hace 3 años y en el actual 1973, se prosiguen con las normas derivadas de la experiencia obtenida en ellos. Voy a exponer sobre estos ensayos, la línea o directriz que en relación con el empleo de materiales de polietileno en su diseño se ha seguido y avance de resultados.

Como aclaración de lo anterior en las figuras núms. 5 y 6 se da croquis de las instalaciones diseñadas para el programa de experiencia acometido, centrado en comparar la incidencia en la producción de cebolla, tomate, pimiento y repollo de los riegos de goteo y pulverización frente al de aspersión y escurrimiento o de gravedad, así como en el consumo de agua para obtener la producción máxima normal.

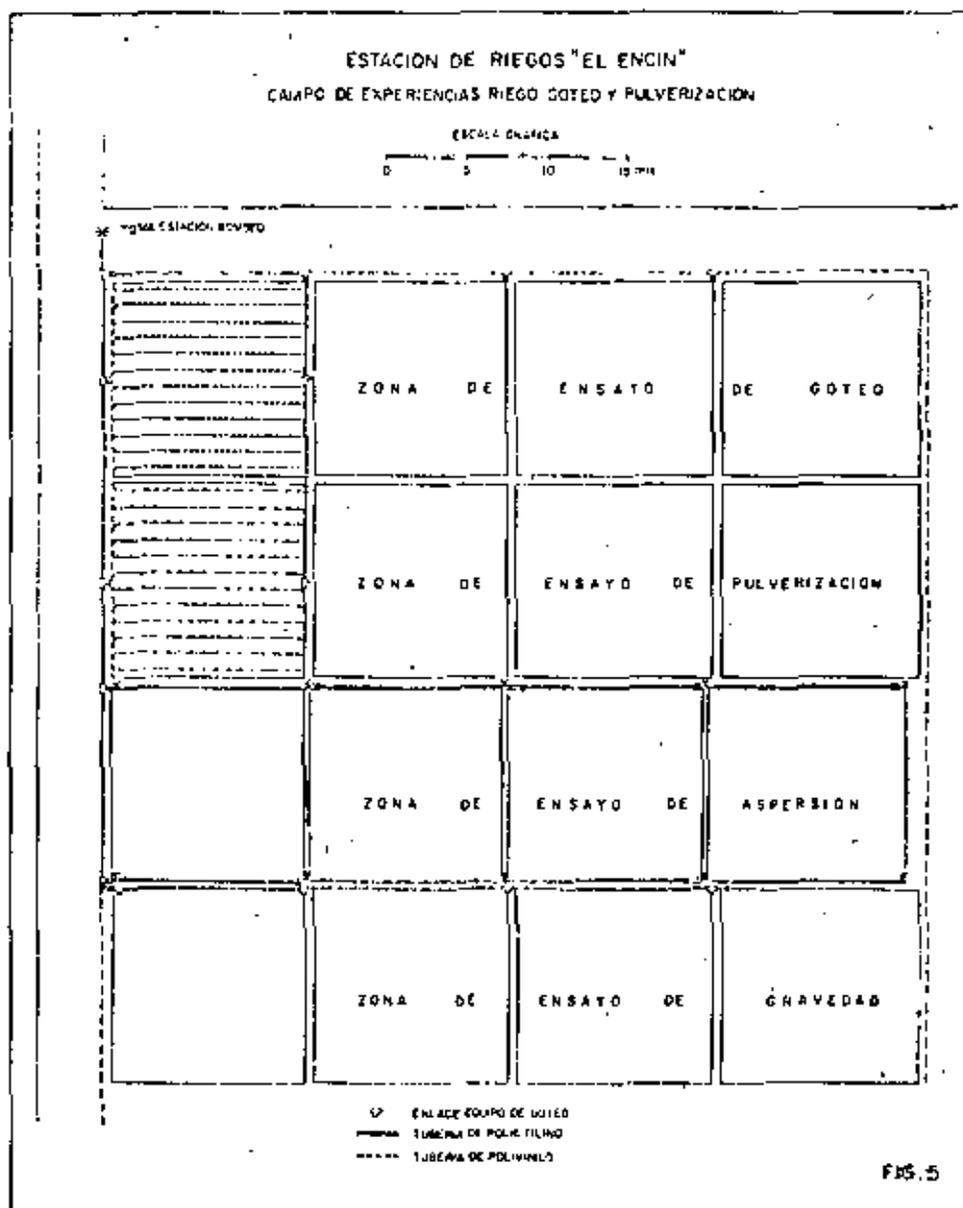
Del programa antes aludido se está confeccionando un primer avance de resultados obtenidos con conclusiones, pero como el empleo de tuberías de pequeño diámetro y fácil movilidad, es base de los riegos de goteo y pulverización, se ha extractado para exponer en este trabajo, los que se refieren a la incidencia de tubería de polietileno de pequeño diámetro y de P. V. C. en los bastidores de conducción madre o suministradora del agua a las anteriores, en el costo por Ha. de implantación de estos sistemas de riego, unido a la mano de obra que exige su desplazamiento.

Se destaca en estos resultados la reducción en el coste de implantación por Ha. y aumento paralelo en las necesidades en mano de obra que experimentan estos sistemas, normalmente fijos, al dar en su diseño movilidad en la utilización.

Diseño de la experiencia

El diseño de estas experiencias por lo que se refiere a los riegos de goteo y pulverización, como se muestra en las figuras núms. 5 y 6, ha sido el siguiente:

Riegos de goteo. — Ramales de 12 m. de longitud en número de 12 por cada unidad a 1 m. de separación, con boquillas de goteo de 10 litros/hora, distanciadas 0,40 m. Estos ramales son de $\varnothing \frac{1}{2}$ " con diámetro interior 16,2 mm.



Riegos de pulverización. — Ramales de 12 m. de longitud en número de 12 por cada unidad, a 1 m. de separación, con boquillas de pulverización de 30 litros/hora, distanciadas a 0,75 m. El \varnothing de estos ramales es de $\frac{1}{4}$ " con diámetro interior 16,2 mm.

Las tuberías de polietileno empleadas están fabricadas con polietileno de baja densidad y, por tanto, flexibles, y su presión nominal de trabajo es de 6 atmósferas, ya que actualmente no se fabrican en España para presiones menores, como son las necesarias en estos sistemas de riego, no superiores a 1,5 Kg./cm².

Hago esta aclaración, ya que de haber dispuesto de tuberías del tipo antes indicado, como existen en el mercado internacional, los costos de implantación que daré más adelante, hubieran descendido.

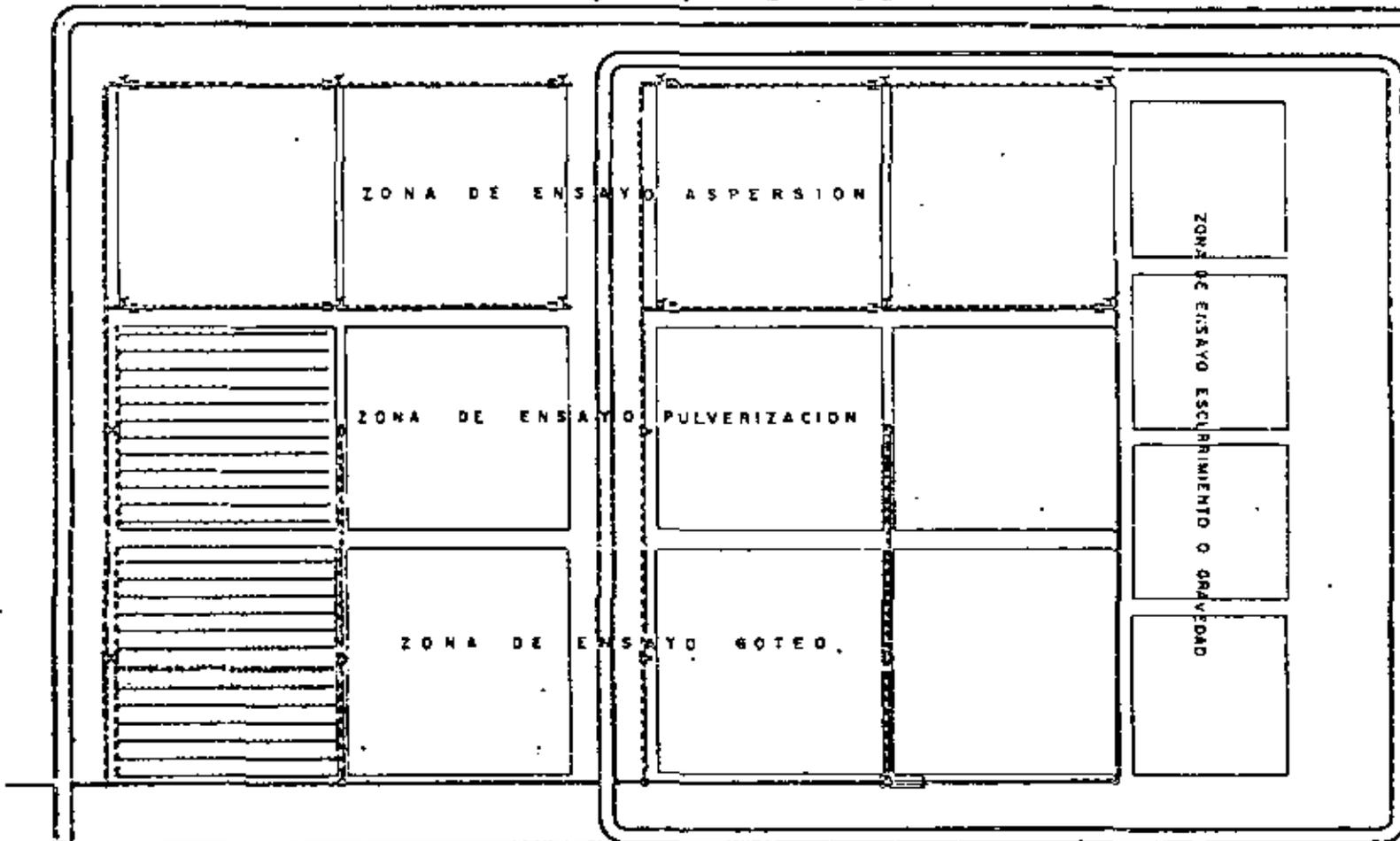
Los bastidores y ramales empleados se muestran en las fotos o) y p).

Los equipos ensayados según se indicó anteriormente proporcionan: 3,6 m³/hora los de goteo y 5,76 m³/hora los de pulverización. Como las necesidades de riego señaladas han sido de 360 m³/hora, por riego cada 3,6 días con horario de 12 horas, se pueden atender con estas unidades las superficies siguientes:

ESTACION DE RIEGOS "LA POVEDA"
CAMPO DE EXPERIENCIAS RIEGOS GOTEO Y PULVERIZACION

ESCALA GRAFICA

0 5 10 15 mts.



- TUBERIA ENTERRADA DE FIBROCEMENTO
- TUBERIA DE ALUMINIO
- TUBERIAS MOVILES DE POLIETILENO
- TUBERIAS DE POLIVINIL
- ENLACE EQUIPO DE GOTEO CON MEDIDA DE CIERRE AUTOMATICO

FIG. 6



Foto o) Bastidor de goteo con los ramales derivados acoplados

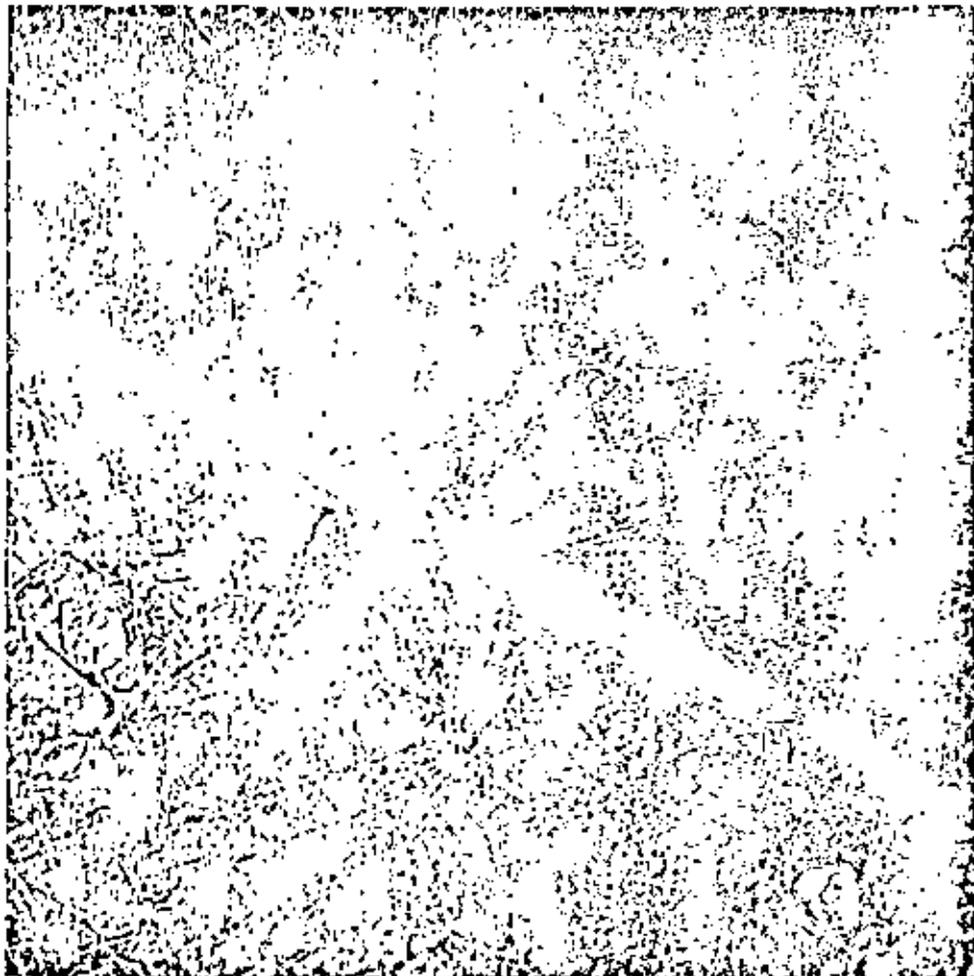


Foto p) Detalle de ramal de goteo con su boquilla

Equipo de goteo

Caudal total 3,6 m³/hora puede atender... 0-43-00 Has.

Equipo de pulverización

Caudal total 5,76 m³/hora puede atender ... 0-69-00 Has.

Como las unidades de riego que atiende el equipo tienen de dimensiones $13 \times 12 = 156 \text{ m}^2$ el número de unidades por equipo son:

Equipo de goteo

28 unidades máximas de 156 m², en disposición como muestra el croquis de la figura número 7.

Equipo de pulverización

44 unidades máximas de 156 m², en disposición como muestra el croquis de la figura número 7.

Los datos que expondré a continuación, se centran en determinar la incidencia del empleo de ramales de polietileno de pequeño diámetro y gran movilidad, sobre los costes de instalación de los sistemas de goteo y pulverización. Asimismo que su fácil manejo permite trasladar fácilmente los ramales y, por tanto, la incidencia de esta fácil maniobrabilidad en los costes de manipulación y su relación con abaratar el coste por Ha. de estos sistemas de riego, dando en su diseño carácter móvil a su utilización, frente al fijo que normalmente tienen.

Los datos por tanto han sido obtenidos sobre las bases siguientes:

Equipo de goteo

28 unidades parcelarias de riego con superficie de 156 m². (13×12) en 7 filas de 4 como muestra el croquis de la figura núm. 7 y superficie total de 0-43-68 Has.

Equipo de pulverización

44 unidades parcelarias de riego con superficie de 156 m². (13×12) en 11 filas de 4 como muestra el croquis de la figura núm. 7 y superficie total 0-68-64 Has.

Ajustar en el riego de las superficies anteriores, el tiempo que precisa el traslado y desplazamiento del bastidor, en el caso de diseñarse como instalación móvil, sin sobrepasar las 12 horas diarias de riego.

Comparar costes de implantación y manipulación que exigen ambos sistemas y las ventajas o inconvenientes económicos de su empleo.

Como el riego debe realizarse, sin exceder 12 horas diarias de trabajo en 3,6 días, nunca debe exceder el número de horas necesarias en manipulación al 8 % de las precisas para realizar el riego diariamente.

Se establece la norma anterior en este tipo de riegos, con el fin de que la falta de continuidad en el suministro no afecte a los cultivos. La experiencia de los ensayos realizados aconseja, que las horas precisas en cambios y traslados de los bastidores en el caso de proyectar la instalación de riego por goteo o pulverización con carácter móvil, no sobrepase el 7 % del horario de riego diario para jornada de 12 horas y dis-

CROQUIS DE ACCION DEL
EQUIPO DE GOTEO

A 12x12	B	C	D
A ^I	B ^I	C ^I	D ^I
A ^{II}	B ^{II}	C ^{II}	D ^{II}
A ^{III}	B ^{III}	C ^{III}	D ^{III}
A ^{IV}	B ^{IV}	C ^{IV}	D ^{IV}
A ^V	B ^V	C ^V	D ^V
A ^{VI}	B ^{VI}	C ^{VI}	D ^{VI}

CROQUIS DE ACCION DEL
EQUIPO DE PULVERIZACION

A 12x12	B	C	D
A ^I	B ^I	C ^I	D ^I
A ^{II}	B ^{II}	C ^{II}	D ^{II}
A ^{III}	B ^{III}	C ^{III}	D ^{III}
A ^{IV}	B ^{IV}	C ^{IV}	D ^{IV}
A ^V	B ^V	C ^V	D ^V
A ^{VI}	B ^{VI}	C ^{VI}	D ^{VI}
A ^{VII}	B ^{VII}	C ^{VII}	D ^{VII}
A ^{VIII}	B ^{VIII}	C ^{VIII}	D ^{VIII}
A ^{IX}	B ^{IX}	C ^{IX}	D ^{IX}
A ^X	B ^X	C ^X	D ^X

FIG. 7

minuya un 1 % del porcentaje anterior por cada incremento de 3 horas sobre el horario diario anterior.

De esta forma con 12 horas diarias de riego el tiempo de desplazamientos no debe exceder de 0,84 de hora = 50' pasando a 6 % con 15 horas diarias, 5 % con 18 horas diarias, 4 % con 21 horas diarias y 3 % con 24 horas diarias.

Con la norma expuesta los bastidores de goteo y pulverización ensayados y cuyos resultados son base de este estudio, precisan para atender cada fila con 4 unidades dispuestas como muestran los croquis de la figura núm. 7 las horas de manipulación siguientes:

En goteo

Horas en acoplar el bastidor con sus mangueras en primera posición 8' 2H 16''

Este tiempo es único para el conjunto de riegos que realiza el bastidor en toda la campaña. Por tanto no se tiene en cuenta para el estudio comparativo que se realizará.

3 cambios transversales del bastidor por fila de 4 unidades de una unidad a la contigua 15' 2H	30''
1 traslado del bastidor de la última unidad de la fila a la primera 8' 2H	16''
	46''

Este tiempo es similar para los bastidores de pulverización.

De la forma expuesta tenemos el Resumen de horas de riego y horas de manipulación por zona de riego que damos a continuación:

Equipo de goteo fijo

28 bastidores con 12 ramales de polietileno Ø 1/8" provistos de boquillas de goteo a 0,40 m, en número de 30 por ramal y caudal total por bastidor 3,6 m³/hora.

Atiende una zona de 0-43-68 Has., divididas en 28 unidades de 13 × 12 = 156 m².

Horas de riego del bastidor $\frac{5,616}{3,6} = 1$ hora 33'.

Con ello tiempo de un riego total de la zona 28 × 1 h, 33' = 43 h, 24' que cubre la frecuencia necesaria de 3,6 días con 12 horas diarias = 43' h, 12'.

Tiempo de manipulación total:

La instalación de los 28 bastidores al iniciar la campaña de riego 8 h, 24', con 18'-2H por posición.

Equipo de goteo móvil

7 bastidores de las mismas características del anterior actuando cada uno, sobre una fila de 4 unidades.

La dosis de riego y frecuencia es similar al caso anterior.

Instalación de los 7 bastidores al iniciar la campaña	2h, 6' de hombre
Traslados	5h, 22' de hombre
Horas en desplazamiento [34 h, y 10'.	

Equipo de pulverización

44 bastidores con 12 ramales de polietileno de $\frac{1}{2}$ " provistos de boquillas de pulverización a 0,75 en número de 16 por ramal y caudal por bastidor total 5,76 m³/hora.

Atiende una zona de 0-68-64 Has. divididas en 44 unidades de $13 \times 12 = 156$ m².

Horas de riego del bastidor = 0,97 h. = 58'.

Con ello tiempo de un riego total de la zona $44 \times 58 = 2.552 = 42$ horas 30'.

Tiempo de manipulación total:

La instalación de los 44 bastidores al iniciar la campaña de riego 9-211, 18'-H (datos medios), $44 \times 18 = 12$ h. 12''.

Equipo de pulverización móvil

Permite actuar al bastidor en cada 2 filas de 4 unidades para las 10 primeras y uno en la final.

Son 6 bastidores de las mismas características del anterior.

Las dosis de riego y frecuencias es similar al caso anterior.

Tiempo de riego total de la zona:

La instalación de los 6 bastidores al iniciar la campaña de riego $9' - H = 18' H = 6 \times 18 = 108' = 1$ h. 48'.

Traslados del bastidor que atiende 2 filas. Por desplazamientos $84' - H = 5 \times 84 = 420'$.

Traslados de bastidor que atiende a 1 fila por desplazamiento $46' H = 1 \times 46' = 46'$.

Total $466' = 7$ horas 46'.

Como el número de riegos en la campaña es 25, como en el caso del goteo, el número total de horas necesarias es 194 h. 10'.

Uniendo a los datos anteriores traducidos en pesetas, los costes de implantación, tenemos el resumen siguiente:

Equipo de goteo

Superficie que puede atender la unidad con riego de 36 mm. 360 m²/hectárea cada 3,6 días con jornada de 12 horas diarias, con amplitud de establecer la frecuencia a 4 días con 10 horas 48 diarias de riego.

$$S = 0-43-68$$

Coste de equipo fijo

Red de distribución, red derivada en polietileno $\varnothing 1 \frac{1}{4}$ ". Contadores y 4 batidores de 12 ramales

337.934 pesetas. Coste Ha. 773.663 pesetas.

Coste equipo móvil

Red de distribución y derivada de polietileno $\varnothing 1 \frac{1}{4}$ " con 6 bastidores de 12 ramales

131.270 pesetas. Coste Ha. 300.526 pesetas.

Necesidades en mano de obra

Equipo fijo

Instalar los equipos al principio de campaña 18' — 2 H cada equipo en número de 28

8 h. 24'. Coste a 50 Ptas./h. 420 pesetas y por Ha. 961,50.

Equipo móvil

Instalación de los 7 bastidores al iniciar la campaña

2 h. 6'.

Traslados en riego en base de 5 h. 22' de hombre y por riego en la campaña

134 h. 10'. Coste a 50 Ptas./h. 6.813 pesetas y por Ha. 15.597 pesetas.

Equipo de pulverización

Superficie que puede atender con riego de 36 mm. 360 m²/Ha. cada 3,6 días de riego, con jornada de 12 horas diarias y amplitud de elevar la frecuencia a 4 días con 10 horas 48' de riego.

$$S = 0-68-64$$

Coste equipo fijo

Red de distribución y red derivada de polietileno Ø 1 1/4". Contadores y 28 bastidores de 12 ramales

466.150. Coste Ha. 679.122 pesetas.

Coste equipo móvil

Red de distribución y derivada de polietileno Ø 1 1/4". Contadores y 7 bastidores de 12 ramales

145.978. Coste Ha. 212.657 pesetas.

Necesidades en mano de obra

Equipo fijo

Instalar los equipos al principio de la campaña 18 hombres, cada equipo en número de 44

12 h. 12'. Costes Ptas./h. 610 pesetas y por Ha. 888,60 pesetas.

Equipo móvil

Instalación de 6 bastidores al iniciar la campaña

1 h. 48'.

Traslados en riego en base de 7 h. 46' de hombre por riego y 25 riegos en la campaña

194 h. 10'. Coste a 50 Ptas./h. 9.788 Ptas. y por Ha. 14.274,40 Ptas.

Se desprende a lo largo de lo que he expuesto, que el panorama que presenta la mecanización y automatización de los sistemas de riego por aspersión y otros, es no sólo amplio, sino variable en sus enfoques. Enfoques que están totalmente supereditados, a condiciones de suministro del agua para riego, estructura de las explotaciones que deben atender, condiciones de cultivo, suelo y topografía, así como capacidad inversora de los agricultores y disponibilidades constructivas que presenta

nuestra industria, respecto no sólo a su fabricación total, sino de los dispositivos y medios auxiliares que precisa su implantación.

Podemos decir que *otros sistemas de riego*, no indican su definición sistemas distintos de aspersión, sino lo siguiente: unos en base de la aspersión enfocados a lograr una mayor facilidad en su manipulación y funcionamiento, disminuyendo el coste de mano de obra que precisa esta operación, como asimismo la que exige la realización del riego automatizando las operaciones de puesta en servicio y parada de las unidades. Otros, como los sistemas de goteo y pulverización se centran en lograr un mayor aprovechamiento del agua, aplicándola en lo posible sólo a la zona que alcanza el desarrollo radicular y unir este ahorro a un aprovechamiento máximo de fertilizantes, incrementando la producción.

Con ello el panorama más amplio de acción, en relación con la mecanización del riego por aspersión e implantación de aquellos otros que podemos denominar mecanizados en mayor o menor escala, se centra en delimitar por zonas según sus características estructurales y culturales aquellos sistemas idóneos a implantar, bajo el doble aspecto productivo y de costes de manipulación, así como funcionamiento que precisa. Para seguir a la acción anterior la elección más adecuada de mecanización en su manejo y puesta en servicio, así como el estudio económico de implantar una automatización total.

No cabe duda que sistemas de automatización total se centran hoy casi en exclusividad en los siguientes:

Sistemas de riego permanente o semi-permanente, pero en ambos casos debiendo cubrir las redes y sistemas de distribución la totalidad de la superficie a regar. Asimismo en los descritos como riegos «Pivot» y riegos con aspersores gigantes «Skid Giant Sprinkler».

Para los restantes sistemas el automatismo no puede ser total y sólo cabe prever equipo doble, para no interrumpir el suministro en la red abastecedora, pero exigiendo manipulación en la puesta en servicio de la unidad cuando se desplaza, ya que la parada de una unidad y puesta en servicio de la próxima puede ser automática, pero no su traslado, que sólo puede ser manual o mecánico.

Sólo cabe por el momento automatización total o perspectivas de que su implantación sea económica, en los riegos de goteo y pulverización, que por sus características especiales y cultivos que atienden, el coste de mano de obra en desplazamientos puede ser elevado.

Por ello creemos que cara a nuestra industria, indicar aquellas facetas de producción que pueden ser importantes para abordar una mecanización y automatización de nuestros regadíos, que tenga resultados positivos, mejorando los costes de instalación y de los elementos auxiliares que precisa su implantación, podemos dar las siguientes conclusiones:

Las conclusiones que se derivan de los ensayos expuestos en este trabajo podemos resumirlas como sigue:

a) Los costes comparativos de instalación por Ha. de equipos de riego por aspersión, con tuberías o conducciones de polietileno, frente a las tradicionales de aluminio, acero estirado, etc., que son favorables a estas últimas, no son representativos, pues el material de polietileno en España es de reciente fabricación y en el momento actual su volumen no permite que el precio de coste sea el normal que rige en otros países, muy inferior al del material de este tipo propio.

b) Teniendo en cuenta lo expuesto en la conclusión anterior, a la vista de las ventajas que brinda el polietileno en las tuberías y conducciones, disminuyendo gastos de averías y daños, así como los de manipulación. Se considera necesario proseguir en el año 1973 las experiencias así como ensayos, informando y aclarando a la industria de plásticos, sobre el panorama del mercado que presenta el polietileno, así como el de piezas y dispositivos complementarios, con la normativa en relación con las características idóneas que deben reunir para este fin.

c) Proseguir las experiencias sobre costes de manipulación y de depreciación y averías, con los equipos tipos ensayados, ampliadas con

el mayor número de tendidos admisibles y conectadas con la incidencia económica de su empleo en las redes de distribución y la automatización máxima del suministro de agua.

d) En los equipos de goteo y pulverización conectar en los 3 próximos años los resultados expuestos, con la incidencia económica de su aplicación en la fertilización y producción así como a la vista de resultados globales de costas, delimitar los cultivos que permiten su implantación.

e) Proseguir con los sistemas de riego expuestos en la conclusión anterior, la tendencia de ampliar al máximo su movilidad, disminuyendo costes de instalación y ampliación paralela de los de manipulación para conocer el límite máximo económico de la movilidad aludida, y poder ampliar su aplicación al máximo de nuestra agricultura hortofrutícola.

f) Para todos los sistemas de riego ensayados en conjunto con el empleo de tuberías de polietileno y P. V. C., que figuran en este trabajo, incorporar a las experiencias que se realicen en los próximos años, la electividad de su empleo en los costes de mano de obra y en el índice de mecanización.

g) Promover el estudio y ensayo hidráulico, de válvulas de control, eléctricas e hidráulicas para el riego, así como el de contadores de cierre hidráulico en suministro a parcela y moduladores de caudal así como reguladores de presión.

h) Iniciar estudios sobre la incidencia de riegos colectivos, agrupando pequeñas unidades, que permitan aplicar económicamente sistemas de riego altamente mecanizados e incluso llegar a su automatización. Asimismo programar una información amplia a nivel de nuestros agricultores y según las características propias de sus zonas, de los beneficios que esta implantación les depararía, pero obligándoles al mismo tiempo a cambiar en la mayoría de los casos la disposición cultural actual de sus explotaciones.

Gracias a todos por la atención prestada y ruego perdonen las lagunas, así como omisiones que haya tenido a lo largo de mi conferencia.

1ª Conferencia

FUNDAMENTOS, FORMULAS THORNTHWAITE Y BLANEY-CRIDDLE Y SU EMPLEO

1.2.3.- FORMULAS EMPIRICAS.

La necesidad - siempre urgente - de disponer de datos más o menos exactos de evapotranspiración y la ausencia de medidas de los factores necesarios para la utilización de métodos racionales, ha conducido al empleo de expresiones que pretenden una estimación de la evapotranspiración (normalmente la potencial) sobre la base de datos meteorológicos --

(1) No todas las plantas presentan una reacción estomática (día - noche) - tan simple como la prevista por Penman.

proporciones por estaciones "standard".

Tales estaciones no están planeadas ni instaladas para dar datos utilizables en la determinación de la evapotranspiración, sino para otros fines. En general, las fórmulas empíricas se han buscado correlacionando la temperatura del aire, la humedad y la radiación incidente (ó combinaciones de estos factores) con la evapotranspiración.

La característica común de todas estas medidas es la de representar factores macroclimáticos, y que, por lo tanto, prescinden de la naturaleza de las superficies sobre las que se realizan. En realidad, la mayoría de las precauciones tomadas en las estaciones meteorológicas para tomar estas medidas, pretenden hacerlas lo más independientes posible de las peculiaridades locales o de la localización de los instrumentos. Ahora bien, la evapotranspiración es un fenómeno esencialmente microclimático. Por lo tanto, no es posible esperar de este tipo de estimaciones más que una aproximación más o menos grosera, a pesar del uso de coeficientes para cada clase de cultivo ó cada estación.

Normalmente, y dado que no existe una base racional para la deducción de estas fórmulas, sus resultados sólo son válidos, en principio, para las zonas climáticas en que han sido encontradas.

Quando las condiciones varían, es necesario proceder a su comprobación a fin de modificarlas convenientemente, si esto es preciso. Esto implica la realización experimental de medidas directas de evapotranspiración que pueden tener mayor interés informativo que las mismas fórmulas.

Los factores meteorológicos globales para los cuales se han buscado frecuentemente correlaciones con la evapotranspiración son los siguientes:

1. Temperatura del aire
2. Radiación incidente
3. Combinación de 1 y 2

1.2.3.1. - Fórmulas basadas en la temperatura.

Los intentos más conocidos de estimar la evapotranspiración mediante datos de temperatura media son las fórmulas de THOLENTHWAITE (1948) y BLANEY - CRIDDLE (1950). La existencia de correlaciones entre la temperatura y la evapotranspiración ha de buscarse en el hecho de la existen-

cia del balance energético (6) ya citado.

$$R_n = \lambda + E + G \quad (6)$$

Cuando las condiciones de evapotranspiración se aproximan a las potenciales, y el periodo de tiempo escogido es suficientemente grande, G es insignificante respecto a R_n y E.

En el caso en que la humedad en la superficie sea suficiente, la mayor parte de la energía se emplea en evapotranspiración y sólo una pequeña parte de ella en calentar el aire (flujo de calor sensible) y -- por otra parte si no existe efecto "oasis" o advección horizontal o vertical, la razón λ/E es pequeña. En condiciones próximas a la evapotranspiración potencial (lo que permite también desperdiciar G para periodos suficientemente largos) se deduce de la ecuación del balance de energía (6)

$$E \approx R_n (1 + \beta) \quad (24)$$

Siendo $\beta = \lambda/E$, la ya citada razón de DOWLEN

La evapotranspiración es, por lo tanto, sensiblemente igual a la radiación neta, siendo ligeramente más pequeña cuando existe un flujo de calor sensible en el aire, y ligeramente más grande cuando el calor sensible del aire contribuye a la evapotranspiración.

Las medidas de R_n no son frecuentes pero la temperatura del aire está controlada por la radiación, única fuertemente disponible de energía, por lo que es posible -- en cierto modo -- tomar la temperatura del aire como un índice de la radiación y, por lo tanto, de la evapotranspiración potencial.

Si tomamos como ejemplo la célebre fórmula de THORNTONWAITE:

$$PE' = 1,6 (10T/I)^a$$

PE' es el valor de la evapotranspiración, no ajustado, es decir para un día de 12 horas y un mes de 30 días, "T" es la temperatura del aire en °C e "I" es un "índice de calor" propio de cada estación que depende de la temperatura media mensual de un largo periodo de tiempo, "a" es una -- función de "I". Ambos factores "a" e "I" se encuentran en tablas dadas -- por THORNTONWAITE y MATHER (1935).

La evapotranspiración potencial corregida, PE, ajustada a una longitud del día de H horas y un mes de "n" días es:

$$PE = PE' \left(\frac{H}{12} \right) \left(\frac{n}{30} \right)$$

$$R_n = A + E + G \quad (6)$$

Cuando las condiciones de evapotranspiración se aproximan a las potenciales, y el periodo de tiempo escogido es suficientemente grande, G es insignificante respecto a R_n y E.

En el caso en que la humedad en la superficie sea suficiente, la mayor parte de la energía se emplea en evapotranspiración y sólo una pequeña parte de ella en calentar el aire (flujo de calor sensible) y -- por otra parte si no existe efecto "oasis" o advección horizontal o vertical, la razón A/E es pequeña. En condiciones próximas a la evapotranspiración potencial (lo que permite también desperdiciar G para periodos suficientemente largos) se deduce de la ecuación del balance de energía (6)

$$E \simeq R_n (1 + \beta) \quad (24)$$

Siendo $\beta = A/E$, la ya citada razón de BOWEN

La evapotranspiración es, por lo tanto, sensiblemente igual a la radiación neta, siendo ligeramente más pequeña cuando existe un flujo de calor sensible en el aire, y ligeramente más grande cuando el calor sensible del aire contribuye a la evapotranspiración.

Las medidas de R_n no son frecuentes pero la temperatura del aire está controlada por la radiación, única fuertemente disponible de energía, por lo que es posible -- en cierto modo -- tomar la temperatura del aire como un índice de la radiación y, por lo tanto, de la evapotranspiración potencial.

Si tomamos como ejemplo la célebre fórmula de THORNTHWAITC:

$$PE' = 1,6 (10T/I)^a$$

PE' es el valor de la evapotranspiración, no ajustado, es decir para un día de 12 horas y un mes de 30 días, "T" es la temperatura del aire en °C e "I" es un "índice de calor" propio de cada estación que depende de la temperatura media mensual de un largo periodo de tiempo, "a" es una función de "I". Ambos factores "a" e "I" se encuentran en tablas dadas -- por THORNTHWAITC y MATHER (1955).

La evapotranspiración potencial corregida, PE, ajustada a una longitud del día de H horas y un mes de "n" días es:

$$PE = PE' \left(\frac{H}{12} \right) \left(\frac{n}{30} \right)$$

La fórmula ha sido encontrada empíricamente a base de numerosas determinaciones de la evapotranspiración potencial; para su fundamento físico puede encontrarse en lo que se ha dicho anteriormente sobre la relación de la temperatura del aire con la evapotranspiración, a través de la radiación.

Sin embargo, a pesar de que la radiación está continuamente en fase con la evapotranspiración a lo largo del año, la temperatura del aire presenta un desfase, debido a la "inercia térmica" de la superficie considerada, o sea el papel que juega el suelo como regulador de la temperatura del aire (almacenamiento de calor).

Es posible construir diagramas para cada localidad, en los que pueden situarse los distintos meses, tomando como coordenadas, de una parte la EP (Thornthwaite corregido) y de otra la radiación neta (medida o mejor estimada durante un periodo de tiempo suficientemente largo). El mismo gráfico puede construirse para la temperatura media y la radiación incidente (1).

En ambos casos es visible el desfase existente entre la radiación y la temperatura (ó EP de Thornthwaite). La desviación es menor para los meses en que tanto las temperaturas como la radiación son máximas. La explicación aparece clara si se tiene en cuenta el almacenamiento de calor por el suelo. Para los meses en que normalmente se centra el periodo vegetativo de los cultivos de regadío, la estima de la evapotranspiración será mucho mejor que en el caso de comparar un periodo de primavera y otro de otoño, que tienen las mismas temperaturas medias.

El valor obtenido para PE durante un año será mucho mejor, ya que el efecto de la inercia térmica se compensa. Las comparaciones experimentales han mostrado, casi siempre, esta subestimación de la evapotranspiración potencial en los meses de primavera y una sobreestimación en los meses de otoño. Esto es válido para los métodos que se basan en la temperatura del aire.

Evidentemente, los coeficientes estacionales y por cultivo añadidos a los métodos que utilizan esencialmente la temperatura media, tienen en cuenta este efecto, englobándolo junto con otros factores locales difíciles de analizar. Sin embargo, se ha de repetir, una vez más, que este tipo de coeficientes deben encontrarse para cada localidad y que no

(1) La radiación y PE pueden expresarse en las mismas unidades (mm/día p. ejemplo) tomando el equivalente de evaporación de la radiación.

es posible pensar en una extensión de coeficientes encontrados para localidades lejanas.

En VAN WIJK y DE VRIES (1954) y PELTON y colabs (1960) se pueden encontrar excelentes estudios del método de Thornthwaite desde el punto de vista crítico. Consideraciones semejantes pueden hacerse a cerca del método de BLANEY - CRIDDLE (1950).

1.2.3.2.- Métodos empíricos basados en la radiación incidente.

Como se ha visto (24) cuando las condiciones de evapotranspiración potencial se cumplen, su valor se aproxima al de la radiación neta, R_n .

La radiación neta, sin embargo, no es un factor macroclimático, varía esencialmente con la superficie sobre la que se mide, dependiendo entre otros factores del "albedo" de ésta (fracción de la radiación incidente total reflejada por la superficie).

La radiación neta depende también del contenido de H_2O de la atmósfera, de la temperatura de la superficie, etc. Es posible intentar la determinación de la radiación neta a partir de datos de la radiación incidente conociendo distintos factores meteorológicos y existen varias expresiones para su determinación. No parece, sin embargo, que dichos cálculos sean de gran utilidad, debido a la importancia de los errores y el gran número de factores que hay que simplificar.

La radiación incidente, es de medida relativamente sencilla, y su estimación más fácil. En algunos países existen redes completas para la medida de R_i , y en otros el número de estaciones que la miden aumenta constantemente. Por otra parte, existe la posibilidad de estimarla a partir de las "horas de sol" que se publican para un número de estaciones relativamente elevado.

Por las razones expuestas al hablar de los métodos basados en la temperatura, es de esperar que la radiación incidente sea el factor macro-meteorológico que, aislado, pueda ser de mayor utilidad para estimar la evapotranspiración potencial. La correlación entre la evapotranspiración potencial y la radiación incidente es de ordinario elevada (v.p. ej. MANZONI, 1954). Algunos intentos basados en la medida de las diferencias de evaporación entre los atmómetros de bola blanca y negra, que como era de prever - están fuertemente correlacionadas con R_i , han dado buenos resultados, al ser comparados con los métodos clásicos basados en la

temperatura del aire (HALKIAS y colads., 1955).

La potencialidad de estos procedimientos parece interesante. -- La operación necesaria se reduce a buscar los coeficientes empíricos -- oportunos que relacionen R_i (ó las diferencias medidas con los atmómetros, con la evapotranspiración, para los distintos cultivos y momento de desarrollo.

Para el registro de R_i , con estos fines, es suficiente servirse de aparatos relativamente sencillos como el piranógrafo.

1.2.3.3.- Métodos basados en combinaciones de la temperatura y la radiación incidente.

En este apartado se clasifica la fórmula debida a TURC para la estimación de la evapotranspiración potencial en su última versión (1961).

$$E_{(\text{mens.})} = 0.40 \times \frac{T_a}{T_a + 15} (R_i + 50) \quad (25)$$

(0,37 para febrero)

En que E está en mm/mes, y R_i en cal cm.⁻² día⁻¹ (media diaria durante el mes considerado).

Esta expresión presenta la ventaja, sobre las que se basan solamente en la temperatura media, de que tiene en cuenta la radiación, si bien de un modo esencialmente empírico.

TURC (1961) señala, al dar a conocer esta nueva fórmula, que se ha reforzado el papel que R_i desempeña en las anteriores (1954-55) del mismo autor.

En la antigua fórmula, los valores encontrados para agosto, -- septiembre y octubre para Europa, eran demasiado altos, debido indudablemente al efecto de la "inercia térmica" de que se habló en los métodos basados en la temperatura. En efecto, la temperatura de dichos meses es parecida a la de los precedentes, pero la radiación es menor. El refuerzo de R_i permite aumentar ligeramente los valores encontrados para los meses de primavera y disminuir los de fin de verano y otoño; todo ello más de acuerdo con las medidas directas de evapotranspiración.

En las fórmulas utilizadas por TURC (1954, 1955, 1961) para el cálculo de la evaporación a partir del suelo raso o de cultivos no regados, se da mayor importancia a la temperatura. Estas constataciones expe-

fundamentales, tienen, sin duda, la explicación teórica de la que la capacidad de almacenamiento del suelo es mayor que la de la cubierta vegetal. Es de esperar que la evaporación del suelo descubierta esté desfasada y peor correlacionada con la radiación que cuando se cumplen las condiciones de evapotranspiración potencial (V. el apartado B-1 Fórmulas basadas en la temperatura).

El autor indica que la fórmula es aplicable incluso para periodos de 10 días, tomando la forma

$$E_{(10 \text{ días})} = 0,13 \frac{T_n}{T_n + 15} (R_i + 50) \quad (26)$$

Es posible que el hecho de tener en cuenta R_i (que está en fase con la evapotranspiración incluso en periodos de 24 horas) aumente la aptitud de la fórmula para periodos cortos de tiempo, en comparación con los basados solamente en la temperatura.

La fórmula en la forma anteriormente indicada es válida para los casos en que la humedad relativa mensual es superior al 50%. En los casos en que la humedad relativa mensual es inferior al 50%, la fórmula se escribe

$$E_{(\text{mens.})} = 0,40 \frac{T_n}{T_n + 15} (R_i + 50) \left(1 + \frac{50 - h.r.}{70}\right) \quad (27)$$

En que h.r. (humedad relativa) se calcula a partir de la media mensual de la temperatura del aire bajo abrigo y de la presión media del vapor durante el mes.

Esta modificación tiende a corregir los valores demasiado bajos encontrándose en ciertas regiones áridas en que el efecto "oasis" es frecuente en los cultivos de regadío. Se ha visto anteriormente, que en caso de advección de aire cálido "E" excede de R_i .

Respecto a las comparaciones que la fórmula ha sufrido en regiones de clima muy diferente, el autor opina: "Se puede admitir con una gran confianza que dá evaluaciones de evapotranspiración potencial con un error inferior al 15% una vez de cada dos (cerca de dos veces cada tres) para periodos de un mes", las evaluaciones de periodos mayores de un mes son mejores.

El autor añade: "Las desviaciones se han evaluado comparando los valores calculados con los medidos; ahora bien, estos últimos están sujetos a errores notables. Por lo demás, la magnitud de la evapotranspiración potencial no está generalmente definida más que con una aproximación del 10%" (Ambas citas de TURC, 1961).

La formula es susceptible de empleo con coeficientes que tienen en cuenta diferencias de rugosidad y grado de cobertura así como circunstancias locales.

Para la determinación de R_i , pueden utilizarse medidas directas o estimarla a partir de las horas de sol. TOMIC (1961) encuentra satisfactorias las determinaciones a base de la expresión,

$$R_i = R_{i0} (0.18 + 0.62 h/H) \quad (28)$$

En que R_{i0} es la radiación máxima posible según el mes y la latitud, en $\text{cal. cm.}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ("H" es la duración astronómica del día y "h" las horas de sol (por día). TOMIC ha utilizado - en principio valores de "h" medidos con el heliógrafo de CAMPBELL y no ha utilizado la corrección del comienzo y fin del día ("Low sun correction").

El uso de los mapas de radiación de BLACK (1954) o de BUDYKO (1955) permite aproximaciones suficientes, según el autor.

II - EMPLEO PRACTICO DE LOS METODOS THORNTWAITE Y BLANEY-CRIDDLE.

CONSIDERACIONES GENERALES. Y FUNDAMENTO DE LAS FORMULAS DE -

THORNTWAITE Y BLANEY-CRIDDLE.

Después de lo expuesto en el capítulo anterior sobre los métodos existentes y en uso para el cálculo de la Evapo-transpiración, damos en este capítulo una exposición de las normas prácticas adoptadas por el Centro de Estudios Hidrográficos, en la determinación de las necesidades en Evapo-transpiración de los cultivos, aplicando los métodos de THORNTWAITE Y BLANEY-CRIDDLE.

El haber adoptado los métodos antes mencionados ha sido debido, a ser estos los que más se adaptan para su uso a los datos meteorológicos actualmente disponibles. Datos que si bien en su mayoría son muchos de ellos insuficientes, pueden servir de base para iniciar un programa sobre el conocimiento de necesidades de agua en los cultivos de las distintas zonas agrícolas o de posible transformación en regadío.

No cabe duda que, aun dentro de las irregularidades que presentará un programa como el indicado anteriormente, se obtendrán una serie de datos que pueden servir de comparación entre consumos de agua de las diversas zonas y contrastar eficiencias en los sistemas de riego que se emplean en ellas.

Este programa unido al acometido por la Dirección General de Obras Hidráulicas sobre experiencias de necesidades reales en agua de los cultivos nos permitirá obtener coeficientes propios, que permitirán corregir las diversas formulas de Evapo-transpiración existentes para su apli-

Los métodos utilizados han sido por tanto, los de Thornthwaite y Blaney-Criddle que son los de uso normal en otros países con problemas de riego análogo a los nuestros.

El haber utilizado los métodos anteriores se debe, resumiendo, a las razones siguientes:

- a) - que el método de Thornthwaite da consumos mayores que el de Blaney-Criddle en los meses de mayo a septiembre lo cual es un margen de seguridad en el cálculo de dotaciones.
- b) - que el método Blaney-Criddle tiene en cuenta el cultivo aplicando coeficientes correctores, basados en las necesidades de las plantas a lo largo de su ciclo vegetativo.
- c) - que al no disponer en España de dichos coeficientes correctores propios, se pueden emplear los calculados en Davis (Sacramento) California con bastante aproximación, al ser zona similar en clima y suelo a algunas de nuestra cuenca mediterránea.
- d) - que el método de Blaney-Criddle es el actualmente adoptado con carácter oficial por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, así como por el Genie Rural Frances e Israel.

Fórmula de Thornthwaite.

Los cálculos de Thornthwaite están basados en determinar el consumo de las plantas o Evapo-transpiración en función de la latitud y temperatura media, elementos similares a los de Blaney-Criddle.

El expone que la relación entre temperatura media mensual y el potencial de evapo-transpiración, ajustado a meses de 30 días y 12 horas de luz por día, puede expresarse por la fórmula $e = ct^n$ donde e = evapo-transpiración mensual en cm. y t = temperatura media mensual.

Con los ensayos por él realizados, teniendo en cuenta las variaciones de iluminación según latitud la fórmula anterior es:

$$e = 1,6 \left(\frac{10}{1} \cdot \frac{t}{5} \right)^a$$

donde 1 es la suma de los 12 valores mensuales del índice de calor i dados por la fórmula

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

y la relación entre a e 1 por

$$a = 675 (1 \cdot 10^{-3})^3 - 77,1 (1 \cdot 10^{-3})^2 + 1792 \cdot 10^{-3} - 1470,49239$$

De la fórmula expuesta Thorntwaite, da las siguientes tablas - para su cálculo:

Tabla nº. 1 - Según temperaturas en grados °C, de los valores de calor mensuales.

Tabla nº. 2 - Según latitud y mes, se obtiene el índice de iluminación mensual.

Tabla nº. 3 - Según temperaturas y el valor de $L = \sum I_i$, se calcula la evapotranspiración diaria, tomando como unidad días de 12 horas de luz.

Vemos pues que Thorntwaite, en su cálculo hace intervenir junto con las temperaturas en °C, un índice de calor, para meses de 30 días y 12 horas de luz, obteniendo la evapotranspiración sin corregir. Ese valor se corregirá, según el índice de iluminación mensual por latitud.

Fórmula de Blaney-Criddle.

Blaney-Criddle experimentando en zonas áridas o semiáridas han propuesto una relación de la forma:

$$(E.T.) = K.F.$$

en la cual F es la "fuerza evaporante" (función de la temperatura y duración de iluminación) y K es un coeficiente poco variable que integra los factores no analizados.

En unidades inglesas la fórmula se presenta bajo la forma:

$$(E.Tp.) = \frac{K}{100} t. p.$$

siendo:

E. Tp. = evapo-transpiración potencial en pulgadas del mes considerado.

t. = temperatura media en grados Fahrenheit.

p. = porcentaje de iluminación mensual, con respecto al año

K = es el factor aludido anteriormente.

que expresada en el Sistema Métrico se convierte en:

$$(E.T.) = \frac{Kp}{100} \left[45,72 (t) + 812,8 \right]$$

viniendo t en °C y (E.T.) evapo-transpiración en mm.

II. APLICACION: CALCULO DE LOS CONSUMOS DE AGUA EN GRANDES ZONAS.

El cálculo de los consumos de agua se obtiene mediante seis cuadros denominados:

CUADRO DE DATOS METEOROLOGICOS.

CUADRO Nº 1 - DATOS. CALCULOS DE EVAPOTRANSPIRACION: THORNTWAITE.

CUADRO Nº 2 - EVAPOTRANSPIRACION MEDIA SEGUN BLANEY-CRIDDLE.

CUADRO Nº 3 - EVAPOTRANSPIRACION MAXIMA SEGUN BLANEY-CRIDDLE.

CUADRO Nº 4 - CONSUMOS REALES SEGUN THORNTWAITE Y BLANEY-CRIDDLE, RESUMEN.

CUADRO Nº 5 - METODO MIXTO THORNTWAITE Y BLANEY-CRIDDLE.

CUADRO DE DATOS METEOROLOGICOS

Dicho cuadro consta de los doce meses del año empezando en Octubre y terminando en Septiembre. En vertical tiene diez casillas para datos en decenio.

Fuente de datos. - Se obtienen a partir de los Boletines meteorológicos rellenando las casillas de:

a) TEMPERATURAS. - La cual consta por mes de las columnas:

Media mensual

Media de máximas.

Media de mínimas.

b) LLUVIA. - La cual consta por mes de las columnas:

Precipitación total.

Precipitación máxima en 24 horas.

Días de lluvia.

Se anotará en la parte superior en el lugar denominado ESTA -

CIÓN, la correspondiente, indicándose a continuación la LONGITUD, LATI - TUD y ALTITUD.

a) TEMPERATURAS.

Una vez obtenidos estos datos, en la fila que dice MEDIAS, -- calcularemos:

a_1 - Media aritmética de los años completos, es decir aquellos que no carecen de datos en ningún mes.

a_2 - Media aritmética en la que intervienen todos los datos que poseemos.

NOTA

Encuadrar aquel año del decenio cuya suma de temperaturas medias mensuales en el periodo de Abril - Agosto sea máxima (considerando sólo años completos).

b) LLUVIA

Una vez obtenidos estos datos, en la fila que dice MEDIAS, -- calcularemos:

b_1 - Media aritmética de todos los años con sus mismas cifras. El cálculo de esta media sólo sirve como dato de precipitación total -- sin aplicación para el cálculo de los consumos de agua.

b_2 - Media aritmética de todos los años, poniendo 70 mm. donde puse de dicha precipitación pues en ese caso, en nuestro país, suelen ser provocadas por lluvias torrenciales que exceden de esa cifra que -- representa la capacidad de campo media del terreno.

b_3 - Media aritmética de los años completos, siguiendo el mismo criterio que en el apartado b_2 .

NOTA

Encuadrar aquel año del decenio que haya sumado menos mm. de lluvia en los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio y Agosto, siguiendo el criterio del apartado b_2 y considerando años completos.

En algunas estaciones en las que el número de datos es escaso consideramos como válidas aquellas en las que figuran como mínimo tres años completos.

CUADRO N° 1 - DATOS, CALCULOS DE EVAPOTRANSPIRACION THORNTWAITE

Consta de las siguientes líneas:

- (1) - Temperatura media mensual: En la que se copiará la línea a_2 del cuadro de datos meteorológicos (temperaturas medias).
- (2) - Pluviometría media mensual: En la que se copiará la línea b_2 del cuadro de datos meteorológicos.
- (3) - Índice de calor mensual con la temperatura media: Se obtiene entrando en la Tabla n° I con las temperaturas medias mensuales.
- (4) - Índice de iluminación mensual en unidades de 12 h.: Se toma la Tabla n° II y para cada mes, según latitud, se pone el número que corresponde.
- (5) - Temperatura máxima media: En la que se copiará la línea a_3 del cuadro de datos meteorológicos de temperaturas máximas.
- (6) - Pluviometría mínima: Se copiará del cuadro de datos meteorológicos la línea recuadrada.
- (7) - Índice "i" calor mensual en la temperatura máxima media: Se obtiene entrando en la Tabla n° I con las temperaturas máximas medias.
- (8) - E.T. con temperatura media mensual sin corregir: Se toma la Tabla n° III y se entra en horizontal con los valores de las temperaturas medias (línea 1) y en verticales se toma el valor de "I" suma de los valores "i" y de los calores mensua-

los medios (línea 3) a lo largo del año.

- (9) - E.T. con temperatura media máxima sin corregir: Se toma la Tabla nº III y se entrá en horizontales con los valores de las temperaturas máximas (línea 5) y en verticales, se toma el valor de "I" suma de los valores "i" de los calores mensuales máximos (línea 6) a lo largo del año.

N O T A.

Para temperatura superior a 20,5°C la Tabla IV nos dá directamente las evapotranspiraciones correspondientes a las líneas (8) y (9).

- (10) - E.T. con temperatura media mensual corregida: Se obtiene haciendo el producto de la línea 4 por la línea 8.
- (11) - E.T. con temperatura media máxima corregida: Se obtiene haciendo el producto de la línea 4 por la línea 9.
- (12) - E.T. con temperatura media mensual restando lluvia: Para el cálculo se despreciarán aquellas precipitaciones que sean inferiores a 10 mm. así como tampoco se tendrán en cuenta las de Mayo, Junio, Julio y Agosto inclusive. No se tendrán en cuenta los excesos de precipitaciones sobre la evapo-transpiración desde el punto de vista acumulativo para los meses siguientes. Se restará la lluvia correspondiente de (2).
- (13) - E.T. con temperatura máxima media restando lluvias: Se seguirá el mismo criterio que en la línea (12). Se restará la lluvia correspondiente de (6).

CUADRO Nº 3. EVAPOTRANSPIRACION MEDIA SEGUN BLANEY-CRIDDLE

- (14) - E.T. con temperatura media mensual:

$$\frac{(4)}{\sum (4)} \left[(1) 45,72 + 812,8 \right]$$

Esta fórmula resulta del cambio de unidades desde el Sistema Métrico Decimal. Siendo $\sum(4)$ la suma de los valores de la línea (4).

En vertical se anotan los distintos cultivos de la alternativa.

Los coeficientes estacionales para los diversos cultivos se -
 muestran sobre los trazos discontinuos. Estos valores van indicados en la -
 Tabla nº V (para coeficientes constantes) y Tabla nº VI para coeficientes
 variables.

Multiplicando los coeficientes estacionales por la evapotrans-
 piración teórica, línea (14), obtenemos los consumos teóricos por cultivo y
 mes. La suma de los productos de los consumos teóricos por los % de super-
 ficie de cultivo nos dá el consumo teórico de la alternativa por mes.

CUADRO Nº 3. EVAPOTRANSPIRACION MAXIMA SEGUN BLANEY-CRIDDLE

(15) E.T. con temperatura máxima media:

$$\frac{(4)}{\Sigma (4)} [(5) 45,72 + 812,8]$$

Para el cálculo de la línea (15) se emplearán las temperaturas
 medias máximas línea (5) efectuándose cálculos análogos a los de la línea
 (14).

CUADRO Nº 4. CONSUMOS REALES SEGUN THOENTWAITE Y
 BLANEY-CRIDDLE. RESUMEN.

METODO THOENTWAITE: RESUMEN DE CONSUMOS SEGUN CICLO VEGETATIVO Y ALTERNATIVA DE MAXIMA INTENSIDAD

Consumos medios. - Se obtendrá multiplicando la línea (12) por
 el % de superficie ocupada por los cultivos de la alternativa en los dis-
 tintos meses.

Consumos máximos. - Se obtendrán multiplicando la línea (13) por
 el % de superficie ocupada por los cultivos de la alternativa en los dis-
 tintos meses.

Media. - Se obtendrá hallando la media aritmética de consumo me-
 dio y consumo máximo por mes.

METODO BLANEY-CRIDDLE: ALTERNATIVA DE INTENSIDAD VEGETATIVA MAXIMA.

Consumo medio. - Se calculará restando de la línea de evapotrans-

piración media del CUADRO N° 2 la parte proporcional de pluviometría media mensual CUADRO N° 1 línea (2) de cada mes, de acuerdo con la intensidad de cultivo correspondiente a dicho mes.

Consumo máximo. - Se calculará restando de la línea de evapotranspiración máxima del CUADRO N° 3 la parte proporcional de pluviometría mínima CUADRO N° 1 línea (6) de cada mes, de acuerdo con la intensidad de cultivo correspondiente a dicho mes.

Media. - Se obtendrá hallando la media aritmética de consumo medio y consumo máximo por mes.

CUADRO N° 5. CONSUMOS ZONA. METODO MIXTO
THORNTWAITE Y BLANEY-CRIDDLE

Se obtiene comparando los consumos obtenidos por ambos procedimientos. Cuando el consumo obtenido por Thornthwaite es mayor que el de Blaney-Criddle se halla la media de ambas y cuando es mayor el de Blaney-Criddle se toma éste. Seguimos este criterio por considerar que es más representativo el de Blaney-Criddle y tomamos el de Thornthwaite como margen de seguridad ya que por no tener en cuenta el cultivo dá mayores consumos.

Finalmente por Blaney-Criddle se dan los consumos por cultivo, que serán base para ajustar los coeficientes estacionales en las diversas zonas a estudiar; ya que las necesidades hídricas de las diferentes especies vegetales dependen de una serie de variables de muy difícil control, únicamente la experiencia del riego será base para su modificación.

TABLA III

INDICE DE ILUMINACION MENSUAL EN EL HEMISFERIO NORTE EXPRESADO EN UNIDADES DE
12 HORAS

LATITUD NORTE	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0°	31.2	28.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2
1	31.2	28.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2
2	31.2	28.2	31.2	30.3	31.5	30.6	31.2	31.2	30.3	31.2	30.0	30.9
3	30.9	28.2	30.9	30.3	31.5	30.6	31.5	31.2	30.3	31.2	30.0	30.9
4	30.9	27.9	30.9	30.6	31.8	30.9	31.5	31.5	30.3	30.9	30.0	30.6
5	30.6	27.9	30.9	30.6	31.3	30.9	31.8	31.5	30.3	30.9	29.7	30.0
6	30.6	27.9	30.9	30.6	31.8	31.2	31.8	31.6	30.3	30.9	29.7	30.3
7	30.3	27.6	30.9	30.6	32.1	31.2	32.1	31.8	30.3	30.9	29.7	30.3
8	30.3	27.6	30.9	30.9	32.1	31.5	32.1	31.8	30.6	30.6	29.4	30.0
9	30.0	27.6	30.9	30.9	32.4	31.5	32.4	31.8	30.6	30.6	29.4	30.0
10	30.0	27.3	30.9	30.9	32.4	31.8	32.4	32.1	30.6	30.6	29.4	29.7
11	29.7	27.3	30.9	30.9	32.7	31.8	32.7	32.1	30.6	30.6	29.1	29.7
12	29.7	27.3	30.9	31.2	32.7	32.1	33.0	32.1	30.3	30.3	29.1	29.4
13	29.4	27.3	30.9	31.2	33.0	32.1	33.0	32.4	30.6	30.3	28.8	29.4
14	29.4	27.3	30.9	31.2	33.0	32.4	33.3	32.4	30.6	30.3	28.8	29.1
15	27.1	27.3	30.9	31.2	33.3	32.4	33.0	32.4	30.6	30.3	28.5	29.1
16	29.1	27.3	30.9	31.2	33.3	32.7	33.0	32.7	30.6	30.3	28.5	28.8
17	26.8	27.3	30.9	31.5	33.6	32.7	33.9	32.7	30.6	30.6	28.2	28.8
18	28.8	27.0	30.9	31.5	33.6	33.0	33.9	33.0	30.6	30.0	28.2	28.8
19	28.5	27.0	30.0	31.5	33.0	33.0	34.2	33.0	30.6	30.0	27.9	28.8
20	28.5	27.0	30.9	31.5	33.0	33.3	34.2	33.0	30.6	30.0	27.9	28.2
21	28.2	27.0	30.9	31.5	33.0	33.3	34.5	33.3	30.6	30.0	27.8	28.2
22	28.2	26.7	30.9	31.8	34.2	33.6	34.5	33.3	30.6	29.7	27.5	27.9
23	27.9	26.7	30.9	31.8	34.2	33.9	34.8	33.6	30.6	29.7	27.6	27.6
24	27.9	26.7	30.9	31.8	34.5	34.2	34.8	33.6	30.6	29.7	27.3	27.0
25	27.9	26.7	30.9	31.8	34.5	34.2	35.1	33.6	30.6	29.7	27.7	27.3
26	27.6	26.4	30.9	32.1	34.8	34.5	35.1	33.6	30.6	29.7	27.3	27.3
27	27.6	26.4	30.9	32.1	34.8	34.5	35.4	33.9	30.6	29.7	27.0	27.0
28	27.3	26.4	30.9	32.1	35.1	34.8	35.4	33.9	30.9	29.4	27.0	27.0
29	27.3	26.1	30.9	32.1	35.1	34.8	35.7	33.9	30.9	29.4	26.7	26.7
30	27.0	26.1	30.9	32.4	35.4	35.1	36.0	34.2	30.9	29.4	26.7	26.4
31	27.0	26.1	30.9	32.4	35.4	35.1	36.0	34.2	30.9	29.4	26.4	26.4
32	26.7	25.8	30.9	32.4	35.7	35.4	36.3	34.5	30.9	29.4	26.4	26.1
33	26.4	25.8	30.9	32.7	35.7	35.7	36.3	34.5	30.9	29.1	26.1	25.8
34	26.4	25.8	30.9	32.7	36.0	36.0	36.0	34.8	30.9	29.1	26.1	25.8
35	26.1	25.5	30.9	32.7	36.3	36.3	36.9	34.8	30.9	29.1	25.8	25.5
36	26.1	25.5	30.9	33.0	36.3	36.6	37.2	34.8	30.9	29.1	25.8	25.2
37	25.8	25.5	30.9	33.0	36.6	36.9	37.5	35.1	30.9	29.1	25.5	24.0
38	25.5	25.2	30.9	33.0	36.9	37.2	37.5	35.1	31.2	28.8	25.2	24.0
39	25.5	25.2	30.9	33.3	36.9	37.2	37.8	35.4	31.2	28.8	25.2	24.6
40	25.2	24.9	30.9	33.3	37.2	37.5	38.1	35.4	31.2	28.8	24.9	24.3
41	24.9	24.9	30.9	33.3	37.5	37.8	38.1	35.7	31.2	28.8	24.6	24.0
42	24.6	24.6	30.9	33.6	37.8	38.1	38.4	35.7	31.2	28.5	24.6	23.7
43	24.3	24.6	30.6	33.6	37.8	38.4	38.7	36.0	31.2	28.5	24.3	23.1
44	24.3	24.9	30.6	33.9	38.1	38.7	39.0	36.0	31.2	28.5	24.0	22.8
45	24.0	24.3	30.6	33.9	38.4	38.7	39.3	36.3	31.2	28.2	23.7	22.5
46	23.7	24.0	30.6	33.9	38.7	39.0	39.6	36.6	31.2	28.2	23.7	22.5
47	23.1	24.3	30.6	34.2	39.0	39.6	39.9	36.6	31.5	27.9	23.4	21.8
48	22.8	23.7	30.6	34.2	39.3	39.9	40.2	36.9	31.5	27.9	23.1	21.6
49	22.5	23.7	30.6	34.5	39.6	40.2	40.5	37.2	31.5	27.6	22.8	21.3
50	22.2	23.4	30.6	34.5	39.9	40.8	41.1	37.5	31.8	27.6	22.8	21.0

INDICE DE ILUMINACION MENSUAL EN EL HEMISFERIO SUR EXPRESADO EN UNIDA-

DES DE 12 HORAS

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
LATITUD SUR												
0°	31.2	28.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2
1	31.2	28.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2
2	31.5	28.2	31.2	30.3	30.9	30.0	31.2	31.2	30.3	31.2	30.6	31.5
3	31.5	28.6	31.2	30.0	30.0	30.0	30.9	31.2	30.0	31.2	30.0	31.5
4	31.8	28.5	31.2	30.0	30.9	29.7	30.9	30.0	30.0	31.5	30.0	31.8
5	31.8	28.5	31.2	30.0	30.6	29.7	30.6	30.0	30.0	31.5	30.9	31.8
6	31.8	28.0	31.2	30.0	30.6	29.4	30.6	30.9	30.0	31.5	30.9	32.1
7	32.1	28.8	31.2	30.0	30.9	29.4	30.3	30.6	30.0	31.5	30.0	32.4
8	32.1	28.8	31.5	29.7	30.3	29.1	30.3	30.6	30.0	31.9	31.2	32.4
9	32.4	29.1	31.5	29.7	30.3	29.1	30.0	30.6	30.0	31.8	31.2	32.7
10	32.4	29.1	31.5	29.7	30.3	28.8	30.0	30.3	30.0	31.8	31.5	33.0
11	32.7	29.1	31.5	29.7	30.0	28.8	29.7	30.3	30.0	31.8	31.5	33.0
12	32.7	29.1	31.5	29.7	30.0	28.5	29.7	30.3	30.0	31.8	31.8	33.3
13	33.0	29.4	31.5	29.4	29.7	28.5	29.4	30.0	30.0	32.1	31.8	33.3
14	33.3	29.4	31.5	29.4	29.7	28.2	29.4	30.0	30.0	32.1	32.1	33.6
15	33.6	29.4	31.5	29.4	29.4	26.2	29.1	30.0	30.0	32.1	32.4	33.6
16	33.6	29.7	31.5	29.4	29.4	27.0	29.1	30.0	30.0	32.1	32.1	33.9
17	33.9	29.7	31.5	29.4	29.1	27.9	28.8	29.7	30.0	32.1	32.4	33.0
18	33.9	29.7	31.5	29.1	29.1	27.6	28.5	29.7	30.0	32.4	32.4	34.2
19	34.2	30.0	31.5	29.1	28.8	27.6	28.5	29.7	30.0	32.4	32.7	34.2
20	34.2	30.0	31.5	29.1	28.8	27.3	28.5	29.7	30.0	32.4	32.7	34.5
21	34.5	30.0	31.5	29.1	28.9	27.3	28.2	29.7	30.0	32.4	32.7	34.6
22	34.5	30.0	31.5	29.1	28.5	27.0	28.2	29.4	30.0	32.7	33.0	34.5
23	34.8	30.3	31.5	28.8	28.5	26.7	27.9	29.4	30.0	32.7	33.0	35.1
24	35.1	30.3	31.5	28.8	28.2	26.7	27.9	29.4	30.0	32.7	33.0	35.1
25	35.1	30.3	31.5	28.8	26.2	26.4	27.9	29.4	30.0	33.0	33.9	35.4
26	35.4	30.6	31.5	28.8	26.2	26.4	27.6	29.1	30.0	33.0	33.6	35.4
27	35.4	30.6	31.5	28.8	27.9	26.1	27.6	29.1	30.0	33.3	33.6	35.7
28	35.7	30.6	31.8	28.5	27.9	25.8	27.3	29.1	30.0	33.3	33.9	36.0
29	35.7	30.9	31.8	26.5	27.6	25.8	27.3	28.8	30.0	33.3	33.9	36.0
30	36.0	30.0	31.8	28.5	27.6	25.5	27.0	28.8	30.0	33.6	34.2	36.0
31	36.3	30.0	31.8	28.5	27.3	25.2	27.0	28.8	30.0	33.6	34.5	36.6
32	36.3	30.9	31.8	28.5	27.3	25.2	26.7	28.5	30.0	33.6	34.5	36.9
33	36.6	31.2	31.8	28.2	27.0	24.9	26.4	28.5	30.0	33.9	34.8	36.9
34	36.6	31.2	31.8	28.2	27.0	24.9	26.4	28.5	30.0	33.9	34.8	37.2
35	36.9	31.2	31.8	28.2	26.7	24.6	26.1	28.2	30.0	33.9	35.1	37.5
36	37.2	31.5	31.8	28.2	26.7	24.3	25.8	28.2	30.0	34.2	35.4	37.8
37	37.5	31.5	31.8	28.2	26.4	24.0	25.5	27.9	30.0	34.2	35.7	38.1
38	37.5	31.5	32.1	24.9	26.1	24.0	25.5	27.9	30.0	34.2	35.7	38.1
39	37.8	31.8	32.1	27.9	26.1	23.7	25.2	27.9	30.0	34.5	36.0	38.4
40	38.1	31.8	32.1	27.9	25.8	23.4	25.2	27.0	30.0	34.5	36.0	38.7
41	38.1	32.1	32.1	27.9	25.8	23.1	24.9	27.6	30.0	34.5	36.3	39.0
42	38.4	32.1	32.1	27.6	25.5	22.8	24.6	27.6	30.0	34.8	36.6	39.3
43	38.7	32.4	32.1	27.6	25.2	22.5	24.6	27.3	30.0	34.8	36.6	39.6
44	39.0	32.4	32.1	27.6	24.9	22.2	24.3	27.3	29.7	34.8	36.9	39.9
45	39.3	32.7	32.1	27.6	24.9	21.9	24.0	27.3	29.7	35.1	37.2	40.2
46	39.6	32.7	32.1	27.3	24.6	21.6	23.7	27.0	29.7	35.1	37.5	40.5
47	39.9	33.0	32.1	27.3	24.3	21.3	23.4	27.0	28.7	35.1	37.8	40.8
48	40.2	33.0	32.4	27.0	24.0	21.0	22.9	26.7	29.7	35.4	38.1	41.1
49	40.5	33.3	32.4	27.0	23.7	20.7	22.5	26.7	29.7	35.4	38.4	41.7
50	41.1	33.6	32.4	26.7	23.1	20.1	22.2	26.4	29.7	35.7	38.7	42.3

VALORES DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL DIARIA SIN CORREGIR (mm) PARA LAS DIFERENTES TEMPERATURAS (°C) Y VALORES DE I

T°C	I											
	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.25	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.50	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.75	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
1.00	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
1.25	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
1.50	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
1.75	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
2.00	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
2.25	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
2.50	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
2.75	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
3.00	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
3.25	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
3.50	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
3.75	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
4.00	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
4.25	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4
4.50	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5
4.75	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5
5.00	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5
5.25	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5
5.50	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5
5.75	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
6.00	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
6.25	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
6.50	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7
6.75	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8
7.00	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8
7.25	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8
7.50	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9
7.75	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9
8.00	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
8.25	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0
8.50	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0
8.75	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1
9.00	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1
9.25	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1
9.50	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2
9.75	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2
10.00	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3
10.25	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3
10.50	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4
10.75	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4
11.00	2.1	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.4
11.25	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6
11.50	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5
11.75	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5
12.00	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6
12.25	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6
12.50	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7
12.75	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7
13.00	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8

T°C	I											
	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75.0	77.5	80.0	82.5
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.00	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.25	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.50	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.75	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.25	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
2.50	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2.75	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3.00	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3.25	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3.50	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3.75	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4.00	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
4.25	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
4.50	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
4.75	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
5.00	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
5.25	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
5.50	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
5.75	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
6.00	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
6.25	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
6.50	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
6.75	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
7.00	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
7.25	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
7.50	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
7.75	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
8.00	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
8.25	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
8.50	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6
8.75	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6
9.00	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6
9.25	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
9.50	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
9.75	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7
10.00	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.6
10.25	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8
10.50	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8
10.75	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9
11.00	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9
11.25	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9
11.50	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
11.75	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0
12.00	1.6	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0
12.25	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1
12.50	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2
12.75	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2
13.00	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.3	1.3	1.3	1.2

T°C	I											
	85.0	87.5	90.0	92.5	95.0	97.5	100.0	102.5	105.0	107.5	110.0	112.5
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.50	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.75	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.25	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.50	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.75	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.25	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.50	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4.75	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5.00	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5.50	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5.75	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6.00	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6.25	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6.50	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6.75	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
7.00	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
7.25	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
7.50	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
7.75	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
8.00	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
8.25	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
8.50	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
8.75	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
9.00	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
9.25	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
9.50	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
9.75	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
10.00	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
10.25	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
10.50	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
10.75	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
11.00	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
11.25	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
11.50	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6
11.75	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6
12.00	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6
12.25	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
12.50	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
12.75	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7
13.00	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8

TFC	I											
	86.0	87.5	90.0	92.5	95.0	97.5	100.0	102.5	105.0	107.5	110.0	112.5
13.25	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.0	0.8
13.50	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.0	0.9
13.75	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9
14.00	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9
14.25	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
14.50	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0
14.75	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
15.00	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1
15.25	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
15.50	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2
15.75	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3
16.00	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3
16.25	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4
16.50	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4
16.75	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5
17.00	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5
17.25	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6
17.50	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6
17.75	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7
18.00	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8
18.25	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8
18.50	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9
18.75	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0
19.00	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0
19.25	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1
19.50	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1
19.75	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2
20.00	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3
20.25	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4
20.50	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5
20.75	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
21.00	3.0	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6
21.25	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7
21.50	3.1	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.7
21.75	3.2	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8
22.00	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9
22.25	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0
22.50	3.4	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
22.75	3.5	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
23.00	3.6	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
23.25	3.7	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3
23.50	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4
23.75	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5	3.4
24.00	3.8	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5
24.25	3.9	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6
24.50	3.9	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.7	3.7
24.75	4.0	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.8
25.00	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.9
25.25	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0
25.50	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.1	4.1	4.1	4.1
25.75	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2
26.00	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	4.3	4.3	4.3
26.25	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.4	4.4	4.4	4.4
26.50	4.5	4.5	4.5	4.5	4.6	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5

T°C	I'											
	115.0	117.5	120.0	122.5	125.0	127.5	130.0	132.5	135.0	137.5	140.0	
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.75	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.00	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.25	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.50	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.75	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.25	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6.50	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6.75	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
7.00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
7.25	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
7.50	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
7.75	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
8.00	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
8.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
8.50	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
8.75	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
9.00	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
9.25	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
9.50	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
9.75	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
10.00	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
10.25	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
10.50	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
10.75	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
11.00	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
11.25	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
11.50	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
11.75	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
12.00	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
12.25	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
12.50	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
12.75	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
13.00	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4

TABLA V

COEFICIENTES ESTACIONALES CONSTANTES PARA EL EMPLEO DEL METODO DE BLANEY-CRIDDLE EN LOS CONSUMOS DE EVAPO-TRANSPIRACION

CULTIVOS	DURACION DEL PERIODO VEGETATIVO nº MESES	VALORES DE (K)
Alfalfa	Entre heladas	0,80 a 0,85
Judias	3	0,60 a 0,70
Maiz	4	0,75 a 0,85
Algodón	7	0,60 a 0,70
Lino	7 a 8	0,80
Grano pequeño	3	0,75 a 0,85
Sergo	4 a 5	0,70
Agrios	7	0,50 a 0,65
Nogal	Entre heladas	0,70
Arboles de hoja caduca	Entre heladas	0,60 a 0,70
Pastos	Entre heladas	0,75
Trebol ladino	Entre heladas	0,80 a 0,85
Patatas	3½	0,65 a 0,75
Arroz	3 a 5	1,0 a 1,20
Remolacha azucarera	6	0,65 a 0,75
Tomates	4	0,70
Hortalizas	3	0,60

Los valores más bajos de (k) corresponden a regiones costeras y los más altos a regiones de clima árido.

COEFICIENTES ESTACIONES VARIABLES PARA EL EMPLEO DEL METODO DE BLANEY-CRIDDLE EN LOS CONSUMOS DE EVAPO-TRANSPIRACION

1

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Agrios			0,41	0,36	0,44	0,43	0,44	0,41	0,41	0,64	0,41	
Frutales de pepita			0,14	0,45	0,49	0,74	0,71	0,55	0,43	0,36		
Cebollas tempranas			0,28	0,45	0,30							
Cebollas tardías.			0,28	0,45	0,30	0,31	0,28					
Albaricoques			0,22	0,45	0,43	0,46	0,51	0,51	0,38	0,60	0,41	
Ciruelas			0,17	0,34	0,34	0,50	0,48	0,32	0,42	0,46	0,24	
Patatas tempranas			0,55	0,72	0,73	0,62						
Tomates tardíos						0,32	0,41	0,71	0,67	0,81		
Melones						0,15	0,16	0,25	0,51			
Tomates tempranos			0,15	0,20	0,30	0,30						
Calizas	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60	0,70	0,60	0,50	0,20	0,20
Maíz				0,32	1,34	1,42	1,40	1,44	0,51			
Patata tardía						0,40	0,65	0,70	0,75	0,30		
Maíz ciclo largo					0,12	0,20	0,38	0,42	0,26	0,10		
Alfalfa			0,41	0,70	0,64	0,67	0,74	0,57	0,64	0,40	0,41	
Maíz						0,12	0,38	0,42	0,26	0,10		
Trebol			0,50	0,81	0,55	0,77	0,83	0,76	0,70	0,44		
Remolacha azucarera			0,10	0,27	0,55	0,87	0,69	0,26	0,15	0,10	0,03	
Cereales			0,40	0,60	0,50							
Algodón			0,12	0,38	0,50	0,50	0,60	0,65	0,30	0,30		

NOTA: Estos coeficientes se han comprobado en las zonas Levantina y Andaluza.

Aprión - Javalan - Chirimayo.			0,41	0,38	0,44	0,43	0,41	0,41	0,41	0,34	0,41		
Frutales papila			0,14	0,44	0,49	0,71	0,71	0,33	0,43	0,38			
Colulina temprana			0,28	0,45	0,30								
Cubellus tardia			0,28	0,48	0,30	0,31	0,28						
Albarizones Melocotona.			0,22	0,45	0,43	0,46	0,31	0,31	0,33	0,50	0,41		
Cigarras			0,17	0,34	0,34	0,50	0,48	0,33	0,42	0,48	0,24		
Tanatos temprana 1º.			0,60	0,72	0,73	0,62							
Tanatos tardia						0,32	0,41	0,71	0,67	0,81			
Melones						0,13	0,18	0,23	0,21				
Tanatos temprana			0,15	0,28	0,30	0,30							
Martallinas	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,50	0,20	0,20	
Arroz				0,12	1,34	1,42	1,40	1,44	0,51				
Patata tardia 2º						0,40	0,65	0,70	0,75	0,30			
Maiz cista larga 1º					0,12	0,38	0,38	0,33	0,25	0,18			
Alfalfa			0,41	0,70	0,84	0,67	0,74	0,67	0,84	0,40	0,41		
Maiz 2º						0,12	0,38	0,43	0,28	0,18			
Trabal o Barafin (Prado).			0,30	0,61	0,55	0,77	0,53	0,78	0,70	0,44			
Remolacha azucarera			5,18	0,27	0,34	0,61	0,49	0,88	0,13	0,14	0,03		
Cereales			0,70	0,80	0,50								
Algodón			0,12	0,36	0,50	0,50	0,50	0,63	0,30	0,30			
Olivar						0,10	0,20	0,20	0,10	0,20			
Haban			0,40	0,60	0,38								
Vita					0,24	0,26	0,31	0,26					
Fuente			0,11	0,35	0,30	0,33	0,31	0,32	0,32	0,22	0,14		
Aluendro			0,40	0,40									
Judas						0,60	0,70	0,60					
Pimiento				0,28	0,20	0,32	0,41	0,31	0,57				
Talero						0,87	0,69	0,26	0,15	0,18			
Veta	0,20								0,30	0,20			
Avena forrajera			0,40	0,60									
Maiz forrajera					0,12	0,20	0,38	0,42	0,26				
Nabo			0,18	0,27	0,35	0,21	0,08	0,38	0,13	0,18	0,03		
Algarrobo				0,19	0,20	0,20	0,30	0,20					
Nabo 2º						0,87	0,69	0,26	0,15	0,18	0,03		
Eñapa					0,62	0,32	0,40	0,55					
Alcachofa			0,30	0,40	0,40	0,38	0,68						
Caña de azúcar	0,77	0,65	0,45	0,32	0,33	0,50	0,50	0,73	0,63	0,44	0,61	0,40	





centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam

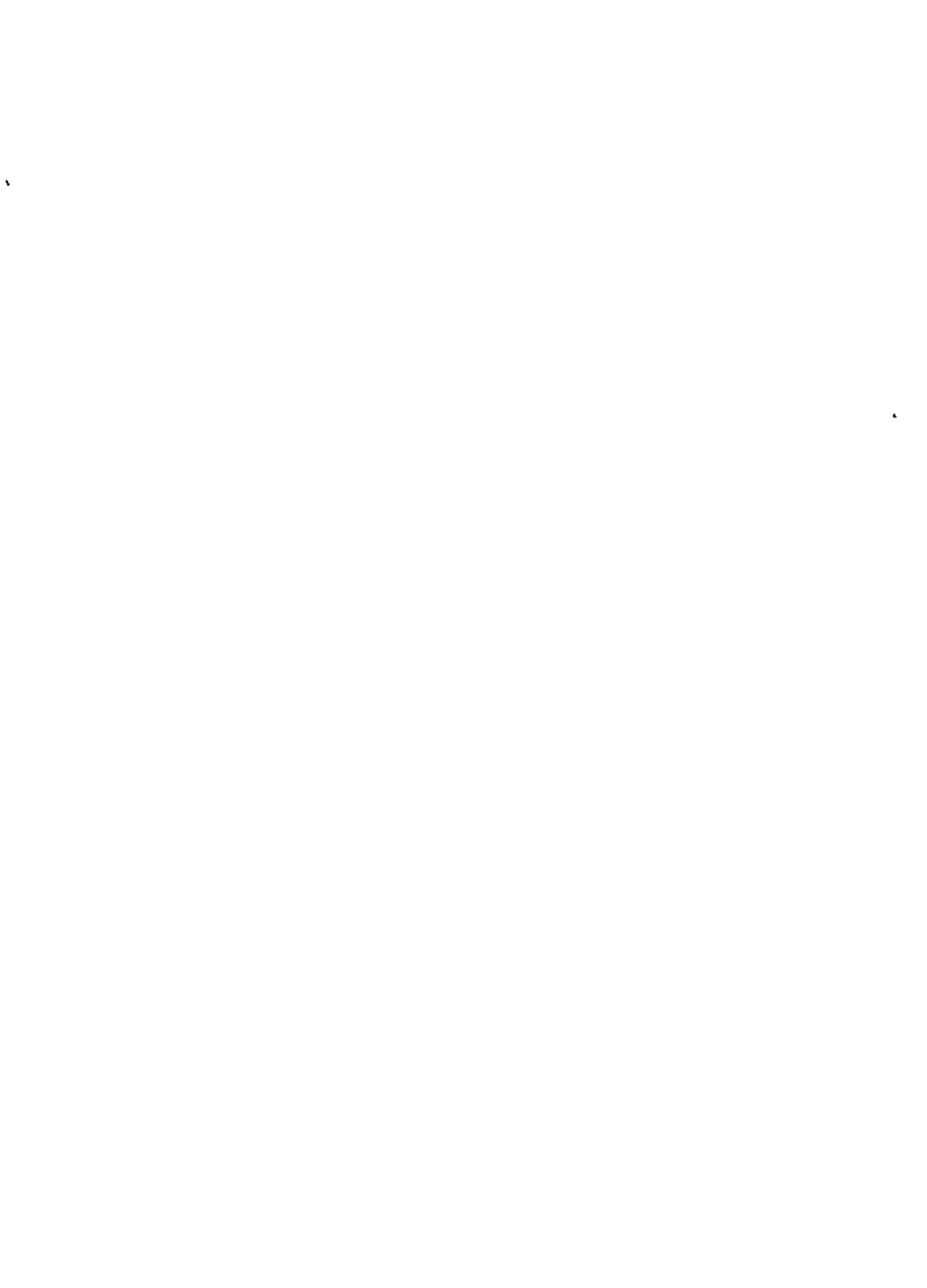


MECANIZACION Y AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

NECESIDADES DE AGUA DE LAS PLANTAS. EVAPOTRANSPIRACION

DR. FAUSTINO GARCIA LOZANO

JULIO, 1980



3.- NECESIDADES DE AGUA DE LAS PLANTAS. EVAPOTRANSPIRACION

En la descripción de los factores que afectan a las necesidades de agua de las plantas, se utilizan frecuentemente varios términos que se definen a continuación:

Transpiración.— Es el proceso mediante el cual el agua es extraída del suelo por las raíces de la planta, circula a través de ella hasta las hojas y desde éstas pasa a la atmósfera en forma de vapor de agua.

Evapotranspiración.— Es la suma de la transpiración y del agua evaporada desde el suelo y desde las partes exteriores de las plantas; en éstas puede haberse acumulado procedente del riego, la lluvia, el rocío o por exudación desde el interior de la planta.

El "Uso consuntivo" incluye además el agua retenida en los tajidos de las plantas. Teniendo en cuenta que el agua de constitución, representa, generalmente, menos del 1% de la totalidad del agua evaporada durante el periodo de cultivo, puede considerarse a efectos prácticos que este concepto coincide cuantitativamente con la evapotranspiración.

Agua de riego necesaria es la cantidad que, excluida la precipitación, se precisa para mantener la humedad y el grado de salinidad del suelo al nivel deseado, durante el periodo de cultivo. Las necesidades de agua de las plantas corresponden a la totalidad del agua empleada en la evapotranspiración, mientras que las necesidades de agua de riego cubren, además de la cantidad anterior, el agua precisa para la eliminación de las sales del suelo mediante lavado en el caso de que esta práctica sea necesaria.

Evapotranspiración potencial es la cantidad de agua que se desprende de una superficie totalmente cubierta de vegetación cuando hay en todo momento un adecuado suministro de agua para ser utilizada por esa vegetación.

A través de las definiciones anteriores queda patente que el concepto básico en la determinación de las necesidades de agua es el de la evapotranspiración.

3. 1.- FACTORES QUE AFECTAN A LAS NECESIDADES DE AGUA DE LAS PLANTAS

El valor de la evapotranspiración está afectado por numerosos factores de los cuales los más importantes son: el clima, la superficie cubierta por las hojas del cultivo, el estado de desarrollo del mismo y el suelo.

El factor climático más importante que afecta a la evapotranspiración es la radiación solar, puesto que es la fuente de energía necesaria para transformar el agua de la fase líquida a vapor tanto a través de las plantas como en el suelo. La temperatura del aire y del suelo, la humedad, la lluvia y el viento también influyen en la evapotranspiración de un cultivo dado.

El valor de la evapotranspiración varía durante toda la temporada y varía con el estado de desarrollo del cultivo, aún cuando la demanda de evaporación pueda ser casi constante. En algunos cultivos anuales, por ejemplo en los cereales, el valor de la transpiración se incrementa desde la germinación de la semilla, hasta el periodo de maduración pastosa, decreciendo después hasta la formación del grano. Otros cultivos, como la remolacha, no muestran una disminución de la transpiración en el periodo próximo a la recolección si la demanda de evaporación permanece constante.

Los factores del suelo que afectan a la evapotranspiración son: la cantidad de agua utilizable que existe en la zona radicular, la temperatura del suelo y la concentración de sales. Cuando el suelo está próximo a la capacidad de campo, la planta puede extraer agua con facilidad, pero si el suelo está próximo al punto de marchitamiento, entonces es más difícil para las raíces obtener agua para la transpiración, la evaporación desde el suelo, es mayor cuando su superficie está húmeda y solo existe una cobertura vegetal parcial, que cuando la superficie está casi seca. La temperatura del suelo afecta a la viscosidad del agua que en él existe, a la presión de vapor y a la facilidad de las raíces para absorber el agua. La falta de una adecuada aireación, detendrá a las raíces y paralizará el desarrollo de la planta. Las altas concentraciones salinas en el suelo, pueden detener la evapotranspiración y la planta puede llegar incluso a morir. En cantidades más pequeñas obliga a las raíces a realizar un mayor trabajo para obtener el agua con lo que se reduce la evapotranspiración y el desarrollo del cultivo.

Esto incrementa la necesidad de riego ya que, para lavar las sales de la zona radicular, debe ser aplicada agua adicional que exceda a la necesaria para la evapotranspiración.

3.2.- CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION

Los procedimientos de cálculo utilizados están generalmente basados en la correlación entre la evapotranspiración y varios factores climáticos.

Dado que el éxito de la programación de riegos está basado en poseer un conocimiento continuo y preciso del contenido hídrico del suelo, para el cálculo de la evapotranspiración es necesario aplicar métodos que permitan calcular su valor día a día.

Los resultados obtenidos por otros procedimientos tales como el de Blaney-Criddle, Thornthwaite, etc. ampliamente utilizados y contrastados, pero aplicables a períodos de tiempo más largos, pueden ser empleados como datos de partida e incluso de contraste de las cifras obtenidas por las fórmulas que calculan datos diarios de evapotranspiración.

El Irrigation Management Service del U.S. Bureau of Reclamation, que dirige actualmente la programación de riegos en numerosas zonas de Estados Unidos, utiliza para la determinación de la evapotranspiración potencial la fórmula de Jensen-Haise. Sin embargo, para contrastar sus resultados, se emplea la fórmula de Perman y los datos de depósitos de evaporación. Se considera generalmente más ajustada la fórmula de Perman, especialmente en zonas donde el viento ejerce gran influencia. Esta fórmula precisa de gran número de datos, de los que no siempre se dispone, y además su cálculo es más complejo, no obstante se considera que es la que debe ser empleada en el futuro por su mayor exactitud.

Una vez obtenida la evapotranspiración potencial, la determinación de la evapotranspiración real de un cultivo determinado, se obtiene multiplicando aquella por un coeficiente denominado coeficiente de cultivo, cuyo significado y determinación serán abordados posteriormente.

3.2.1.- Determinación de la evapotranspiración potencial

A continuación se exponen los tres métodos antes citados para el cálculo de la evapotranspiración potencial.

3.2.1.1.- Método de Jensen-Haise

Jensen y Haise utilizando como base unas 3.000 determinaciones de evapotranspiración, efectuadas empleando procedimientos de muestreo de suelos, han establecido la siguiente correlación entre la evapotranspiración potencial y la radiación solar:

$$ETP = C_T (T - T_0) R_S$$

En la cual ETP viene expresada en mm. de altura de agua por día; T es la temperatura del aire media diaria ($^{\circ}\text{C}$); R_S es la radiación solar diaria expresada en mm. de altura de evaporación equivalente (1 cal/cm²/día = 1 langios por día = $\frac{1}{58,5}$ mm. de altura de agua evaporada/día.) (*)

Los parámetros C_T y T_0 son constantes para una determinada zona pues se basan en la serie histórica de datos meteorológicos que corresponden a la citada zona.

El valor de C_T , expresado en $^{\circ}\text{C}^{-1}$, tiene para los cultivos agrícolas el valor:

$$C_T = \frac{1}{C_H C_2 + C_1}$$

y se obtiene, como a continuación se indica, a partir de la serie histórica de temperatura media máxima y temperatura media mínima para el mes de temperatura media del aire más elevado, es decir el mes más cálido.

En efecto, C_H es un índice adimensional de humedad que se evalúa de la forma siguiente:

$$C_H = \frac{50 \text{ milibares}}{(e_2 - e_1) \text{ milibares}}$$

siendo, e_2 = tensión máxima de vapor a la temperatura media máxima del aire en el mes más cálido y e_1 = tensión máxima de vapor a la temperatura media mínima del aire en el mes más cálido. Estos valores pueden obtenerse directamente en el Anexo nº 8 a partir de las temperaturas indicadas.

Los restantes coeficientes C_1 y C_2 tienen los valores siguientes:

$$C_1 ({}^{\circ}\text{C}) = 38 ({}^{\circ}\text{C}) - 2 ({}^{\circ}\text{C}) \frac{E}{305} \quad (E \text{ es la altitud del lugar expresada en metros}).$$

$$C_2 ({}^{\circ}\text{C}) = 7,6 ({}^{\circ}\text{C})$$

* La caloría por centímetro cuadrado y día se transforma en altura de evaporación equivalente teniendo en cuenta que el calor de vaporización del agua es de 585 cal/gr.

Por su parte T_o , que ya se indicó era constante para una zona dada, se evalúa mediante la expresión:

$$T_o \text{ (}^\circ\text{C)} = -2,5 \text{ (}^\circ\text{C)} - 0,14 (e_2 - e_1) \left(\frac{^\circ\text{C}}{\text{mb}}\right) - \frac{E}{550} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

en la cual e_1 , e_2 y E son las magnitudes antes citadas.

Si se carece de medidas directas de radiación solar, ésta puede estimarse mediante alguna de las expresiones siguientes:

$$1^\circ) \quad R_s = R_a \left(0,29 \cos \psi + 0,54 \frac{n}{N}\right)$$

en la cual:

R_a = radiación global en el supuesto de que no existiese atmósfera. Este valor depende de la latitud y de la época del año y puede obtenerse mediante la tabla incluida en el Anejo nº 9.

ψ = latitud del lugar.

n = horas de insolación efectiva.

N = horas de insolación máxima. Puede obtenerse, en función de la latitud, mediante la tabla incluida en el Anejo nº 10.

$$2^\circ) \quad R_s = \left(0,35 + 0,61 \frac{n}{N}\right) R_{So}$$

en la cual R_{So} es la radiación solar que debería esperarse en ese día si no hubiese nubes; sus valores pueden obtenerse anotando las observaciones de radiación solar y hallando una curva envolvente de los valores más altos. En Estados Unidos se utilizan también las tablas elaboradas por Budyko y Fritz (Anejo 11).

Ejemplo 6: Calcular la evapotranspiración potencial (mm./día) que existirá el día 20 de julio en un determinado lugar, cuya altitud es de 50 m., en el que se ha registrado ese día una temperatura media del aire de 28°C y una radiación solar de 640 langlios.

Según la serie histórica de datos meteorológicos de la zona, el mes más cálido es julio en el cual la temperatura media máxima del aire es de 34,5°C y temperatura media mínima del aire de 17,7°C.

Solución

$$ETP = C_T (T - T_o) R_S$$

$$T = 28^\circ\text{C}$$

$$R_S = 640 \text{ langlios/día} = \frac{640}{58,5} \text{ mm/día} = 10,94 \text{ mm/día}$$

$$C_T (\text{°C}^{-1}) = \frac{1}{C_H C_2 + C_1}$$

$$C_H = \frac{50 \text{ mb}}{(e_2 - e_1) \text{ mb}} \quad e_2 = 54,70 \quad e_1 = 20,22 \quad C_H = 1,45$$

$$C_1 (\text{°C}) = 38 - 2 \times \frac{E}{305} \quad E = 50 \text{ m.} \quad C_1 (\text{°C}) = 37,67$$

$$C_2 (\text{°C}) = 7,6$$

$$C_T = \frac{1}{1,45 \times 7,6 + 37,67} = 0,020 (\text{°C}^{-1})$$

$$T_o (\text{°C}) = -2,5 - 0,14 (e_2 - e_1) - \frac{E}{550} = -7,41$$

$$ETP (\text{mm}) = 0,020 \times (28 + 7,41) \times 10,94 = 7,75 \text{ mm. de ETP el día 20 de Julio.}$$

3.2.1.2.- Método de Penman

La ecuación de Penman estima el flujo evaporatorio potencial día⁻¹ E, de un cultivo de referencia, tal como alfalfa, con un desarrollo de 30 a 50 cm. y bien abastecido de agua. Este flujo que se calcula en $\text{cm}^3 \text{ día}^{-1} \text{ m}^{-2}$, puede convertirse posteriormente a milímetros de altura de evaporación potencial equivalente, tomando como calor de vaporación 585 cal gr^{-1} .

Dicho flujo viene determinado por la siguiente expresión:

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} (15,36) (1,0 + 0,0052 u_2) (e_s - e_d) (t)$$

En ella:

Δ es la pendiente de la curva temperatura - tensión máxima de vapor, $(\frac{de}{dT})$, expresada en $\text{mb } ^\circ\text{C}^{-1}$, en el punto correspondiente a la temperatura del aire media del día.

γ es la constante psicrométrica cuyo valor es: $0,66 \text{ mb } ^\circ\text{C}^{-1}$ a 20°C y 1 bar de presión.

- R_n = la radiación neta en $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$,
 G = el flujo calorífico del suelo en $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$,
 u_2 = la velocidad del viento en Km. día^{-1} tomada a una altura de 2 m. del suelo.

$e_s - e_d$ = déficit diario de tensión de vapor expresado en mb.

Los factores $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ y $\frac{1}{\Delta + \gamma}$, pueden obtenerse directamente en función de la temperatura media del aire del día, en tablas como las incluidas en los Anejos 12 y 13.

El cálculo del déficit $e_s - e_d$ puede realizarse de varias formas (11):

- Por diferencia entre la tensión máxima de vapor a la temperatura media del aire y la tensión máxima de vapor a la temperatura del punto de rocío.
- Mediante el producto de la tensión máxima de vapor a la temperatura media del aire por el complemento a la unidad de la humedad relativa media (expresada ésta en tanto por uno).
- Por diferencia entre la media de las tensiones máximas de vapor correspondientes a las temperaturas máxima y mínima del día y la tensión máxima de vapor a la temperatura del punto de rocío, (determinado éste en las primeras horas de la mañana).
- Hallando la media entre los déficits de tensión de vapor correspondientes a los momentos de temperaturas máxima y mínima del día.
- Hallando la media entre los déficits de tensión de vapor horarios.

Los métodos a) y b), en los que se utiliza la temperatura media diaria, pueden no ser representativos del déficit de tensión buscado, puesto que la función que liga a la tensión máxima de vapor con la temperatura no es lineal (Anejo nº 8).

La velocidad del viento debe registrarse a la altura de 2 m. del suelo. En el caso de que el aparato de medida empleado esté situado a altura diferente, el valor de u_2 puede determinarse mediante la relación $u_2 = u_z \left(\frac{2}{z}\right)^{0,2}$, siendo z la altura del aparato utilizado.

La magnitud del flujo calorífico diario del suelo es pequeña y — desde el punto de vista práctico puede ser despreciable. Para períodos de — tiempo largos, puede obtenerse, de un modo aproximado, suponiendo que la temperatura del suelo, hasta 2 m. de profundidad, varía de acuerdo con la temperatura media del aire y que la capacidad calorífica volumétrica media para el — suelo es de $0,5 \text{ cal cm}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (11). Si T_{a} es la temperatura media del aire en — el período i , e Δt el número de días comprendidos entre los puntos medios de los dos períodos, el valor de G expresado en $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ viene dado por:

$$G = \frac{T_{i-1} - T_{i+1}}{\Delta t} \times 100$$

En el programa I.M.S., el valor de G se estima mediante la expresión:

$$G = \left[\text{Temperatura media del aire (} ^\circ\text{F)} - \text{temperatura media de los tres días previos (} ^\circ\text{F)} \right] \times 5.$$

Este factor, de escasa repercusión en el resultado, está siendo — actualmente sometido a revisión. Para cultivos que cubren totalmente el terreno, como la alfalfa, puede considerarse nulo.

La radiación neta R_n , puede ser estimada por medio de la ecuación.

$$R_n = (1 - \alpha) R_s - R_b$$

donde R_s es la radiación solar, α el albedo y R_b la radiación de onda larga saliente neta. El valor de α está generalmente comprendido entre 0,22 y 0,25 pudiendo tomarse $\alpha = 0,23$ como valor medio.

La determinación de R_s , radiación solar, ya se ha comentado en el apartado anterior.

El valor de R_b puede obtenerse mediante la expresión:

$$R_b = \left(a_1 \frac{R_s}{R_{so}} + b_1 \right) R_{bo}$$

en la cual R_{bo} es la radiación de onda larga saliente en días sin nubes. El — valor de las constantes a_1 y b_1 , según datos obtenidos en Davis (California), es 1,35 y -0,35 respectivamente, mientras que para Idaho se tiene 1,22 y — -0,13 (Wright y Jensen, 1971).

La radiación de onda larga saliente neta en días sin nubes, se estima según:

$$R_{bo} = (a_2 + b_2 \sqrt{e_d}) (11,71 \times 10^{-8}) \frac{T_2^4 + T_1^4}{2}$$

en la cual $11,71 \times 10^{-8}$ es la constante de Stefan Boltzman en $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ y T_1 y T_2 las temperaturas diarias máxima y mínima del aire expresadas en $^{\circ}\text{K}$.

El cálculo de R_{bo} puede simplificarse empleando el Anejo nº 14.

La constante a_2 se ha utilizado con el valor 0,35 en California y 0,325 en Idaho sin embargo, el empleo de la expresión siguiente, obtenida en 1971 por Wright y Jensen, mejora la estimación de la radiación neta.

$$a_2 = 0,325 + 0,045 \text{ sen. } 30 (M + D/30 - 1,5).$$

donde M es el mes (del 1 al 12) y D el día (del 1 al 31).

Para la constante b_2 se emplea en California el valor -0,046 y en Idaho -0,044.

Por último R_s es la radiación solar que debería esperarse en ese día, si no tuviese nubes.^{SD} Sus valores pueden obtenerse como se indicó en el apartado 3.2.1.1.

Ejemplo 7: Calcular, por el método de Perman, la evapotranspiración potencial de un cierto día partiendo de los siguientes datos:

- a) Latitud 39 $^{\circ}\text{N}$.
- b) Altitud 50 m.
- c) Temperatura máxima = 34,5 $^{\circ}\text{C}$
- d) Temperatura mínima = 17,7 $^{\circ}\text{C}$
- e) Temperatura media = 26,1 $^{\circ}\text{C}$
- f) Temperatura media del punto de rocío = 16,2 $^{\circ}\text{C}$
- g) Temperatura media de los tres días previos = 26,7 $^{\circ}\text{C}$
- h) $R_s = 640$ langlios/día
- i) $u_2^5 =$ recorrido medio del viento (a 2m.) = 191 Km.

Solución:

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} (15,36) (1,0 + 0,0062 u_2) (e_s - e_d).$$

$$1^{\circ}) \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} = 0,75, \text{ según Anejo 12}$$

$$2^{\circ}) \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} = 0,25, \text{ según Anejo 13}$$

3º) Cálculo de R_n .

$$R_{bo} = (a_2 + b_2 \sqrt{e_d}) (11,71 \times 10^{-8}) \frac{T_2^4 + T_1^4}{2} \text{ donde}$$

$$a_2 = 0,35; b_2 = -0,046$$

$$e_d = 18,39 \text{ mb, según Anejo 8}$$

$$T_2 = 17,7 + 273 = 290,7; \quad 11,71 \times 10^{-8} T_2^4 = 839,7 \text{ según Anejo 14.}$$

$$T_1 = 34,5 + 273 = 307,5; \quad 11,71 \times 10^{-8} T_1^4 = 1047,0$$

$$11,71 \times 10^{-8} \frac{T_2^4 + T_1^4}{2} = 943,35$$

$$R_{bo} = (0,35 - 0,046 \sqrt{18,39}) \times 943,35 = 144 \text{ langlios}$$

$$R_b = \left(a_1 \frac{R_s}{R_{so}} + b_1 \right) R_{bo}, \text{ donde } a_1 = 1,35; R_s = 640 \text{ langlios;}$$

$$b_1 = -0,35; R_{bo} = 144 \text{ langlios}$$

$$R_{so} = 757,5, \text{ según Anejo 11}$$

$$R_b = \left(1,35 \times \frac{640}{757,5} - 0,35 \right) \times 144 = 113 \text{ langlios.}$$

$$R_n = (1 - \alpha) R_s - R_b \text{ donde } \alpha = 0,23; R_s = 640 \text{ langlios y}$$

$$R_b = 113 \text{ langlios.}$$

$$R_n = (1 - 0,23) \times 640 - 113 = 360 \text{ langlios.}$$

4º) Cálculo de G .

$$G = [78,98 - 80,08] \times 5 = -5,5 \text{ langlios.}$$

5º) Cálculo de $e_s - e_d$.

$$\text{Tensión máxima de vapor a la temperatura máxima (34,5°C) = 54,7 mb.}$$

$$\text{Tensión máxima de vapor a la temperatura mínima (17,7°C) = 20,22 mb.}$$

Tensión máxima de vapor a la temperatura del punto de rocío -
(16,2°C) = 18,39 mb.

$$e_s - e_d = \frac{54,7 + 20,22}{2} - 18,39 = 19,07 \text{ mb}$$

$$E = 0,75 (380 - 5,5) + 0,25 (15,36) (1,0 + 0,0062 \times 191) \times \\ \times (19,07) = 440,81 \text{ langlios.}$$

$$\text{ETP} = \frac{440,81}{58,5} = 7,53 \text{ mm. de altura de agua.}$$

3.2.1.3.- Depósitos de evaporación

La medida de la evaporación en una lámina libre de agua se utiliza también para estimar el valor de la evapotranspiración. En esta estimación, debe utilizarse un coeficiente que permita transformar los valores de la evaporación en los correspondientes de evapotranspiración potencial.

En el cálculo de la evapotranspiración por este método deben considerarse los siguientes aspectos: a) El valor obtenido no es el mismo para los diferentes tipos de depósitos; b) influye también la cubierta vegetal del lugar en que se encuentra instalado el depósito.

El cálculo de la ETP se realiza utilizando la expresión:

$$\text{ETP} = C_{et} \times E$$

en la cual C_{et} es el coeficiente que relaciona la evaporación en el depósito, E, con la evapotranspiración potencial.

La seguridad en las estimaciones depende precisamente de la precisión del calibrado del coeficiente del depósito C_{et} .

El modelo de tanque que se utiliza con más frecuencia es el denominado de Clase A, del United States Weather Bureau. En el Anejo nº 15 se incluyen los valores del coeficiente C_{et} , obtenidos por Doornbos y Pruitt para este tipo de depósito.

Ejemplo 8: Determinar la evapotranspiración potencial a partir de la evaporación registrada, 10,3 mm., en un tanque Clase A situado en un lugar en el que se ha registrado una velocidad del viento de 191 Km/día y una humedad relativa del 54%.

El tanque está situado sobre cascabel y la distancia L, véase Anejo 15, es de 10 metros.

Solución

Según Doorembos y Pruitt (Anejo 15): $C_{at} = 0,7$

$$ETP = 0,7 \times 10,3 \text{ mm.} = 7,21 \text{ mm. de altura de agua.}$$

3.2.2.- Evapotranspiración real. Coeficiente de cultivo

El valor de la evapotranspiración para un cultivo específico, puede determinarse a partir de la evapotranspiración potencial, mediante la relación.

$$E_t = K_c \times ETP$$

donde K_c representa los efectos combinados de la resistencia al movimiento del agua desde el suelo hasta las superficies de evaporación y la resistencia a la difusión del vapor de agua desde esas superficies a la atmósfera, así como la cantidad relativa de energía radiante utilizable, en comparación con el cultivo de referencia.

K_c es un coeficiente medio, que ajusta los valores de la ETP a las exigencias de humedad de un cultivo determinado, en el momento de su desarrollo para el cual se realiza el cálculo. Cuando el suministro de agua es adecuado, K_c es la relación entre ET y ETP. Esta relación generalmente se representa por medio de una curva, cuyos puntos se han obtenido tomando como base datos experimentales.

Jensen y Haise han obtenido las curvas que se muestran en las figuras 5, 6 y 7 correspondientes a diversos cultivos. En ellas, el coeficiente K_c puede obtenerse en función del grado de desarrollo de las plantas, - el cual se establece utilizando el concepto de "cobertura efectiva". Este concepto responde a la fecha en la que el cultivo alcanza el estado de desarrollo en el que comienza a exigir los volúmenes "punta" de agua. En el Anejo nº 16 - se incluye una tabla elaborada por Jensen y Haise, en la que se indica para varios cultivos, el momento en que tiene lugar la cobertura efectiva. En el Anejo nº 17 figuran los criterios que a este respecto se siguen en el Distrito de Riegos de El Paso (Texas).

Figura. 5.

CURVAS DEL COEFICIENTE K_c (JENSEN Y HAISE, 1963)

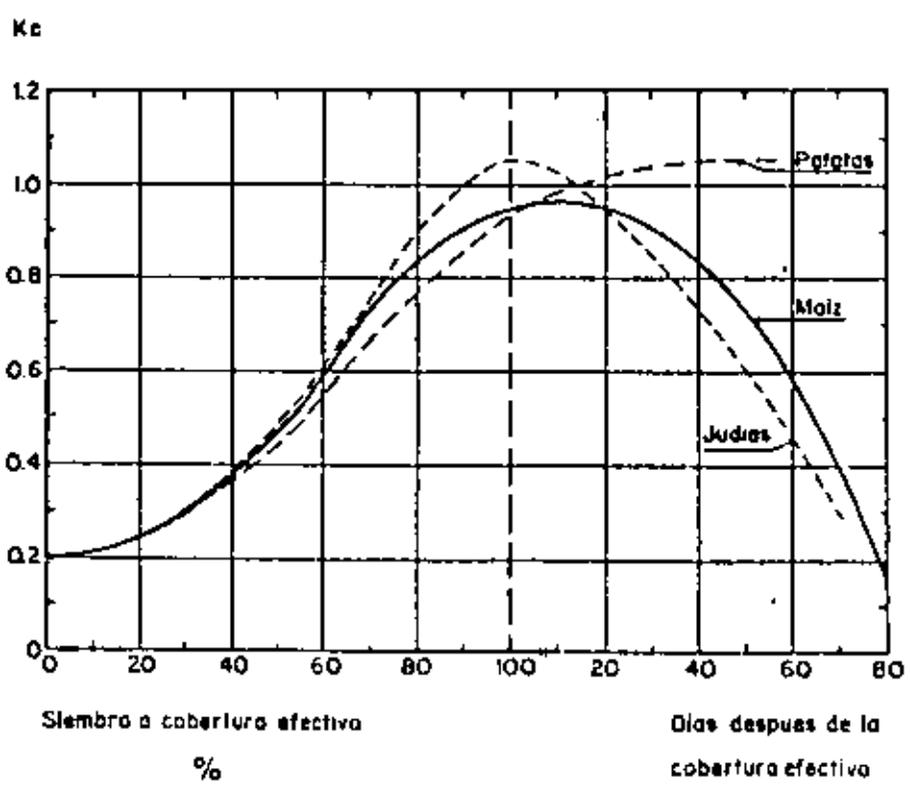
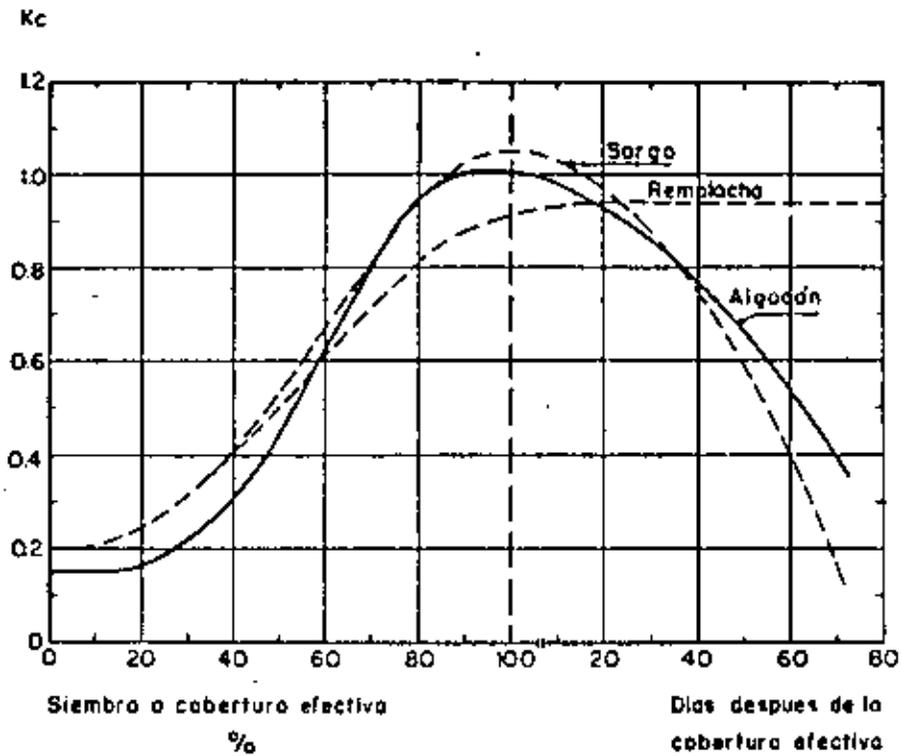


Figura. 6

CURVAS DEL COEFICIENTE K_c (JENSEN Y HAISE, 1963)

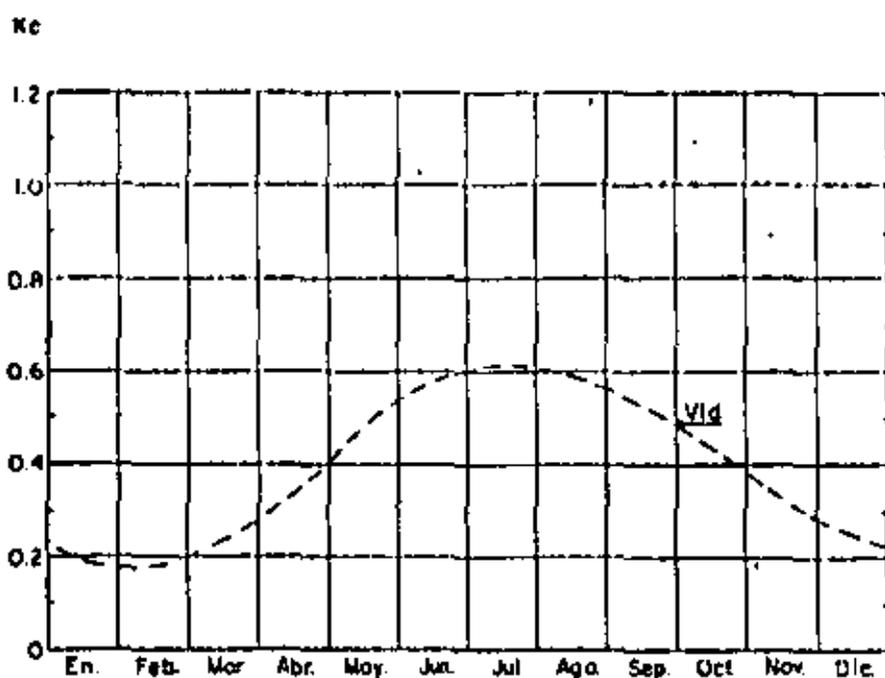
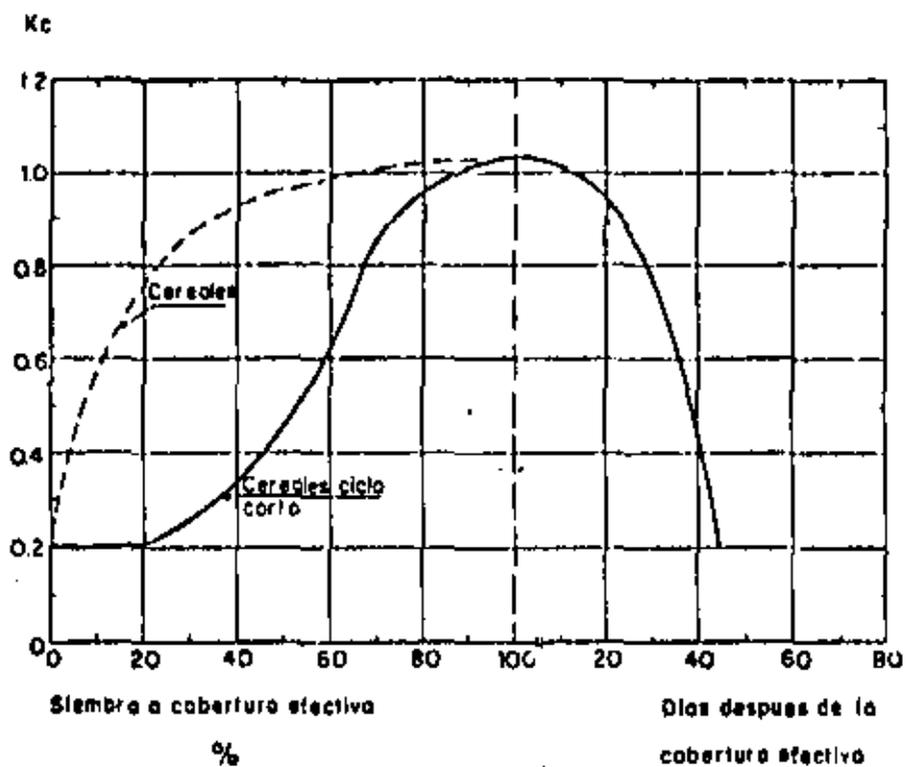
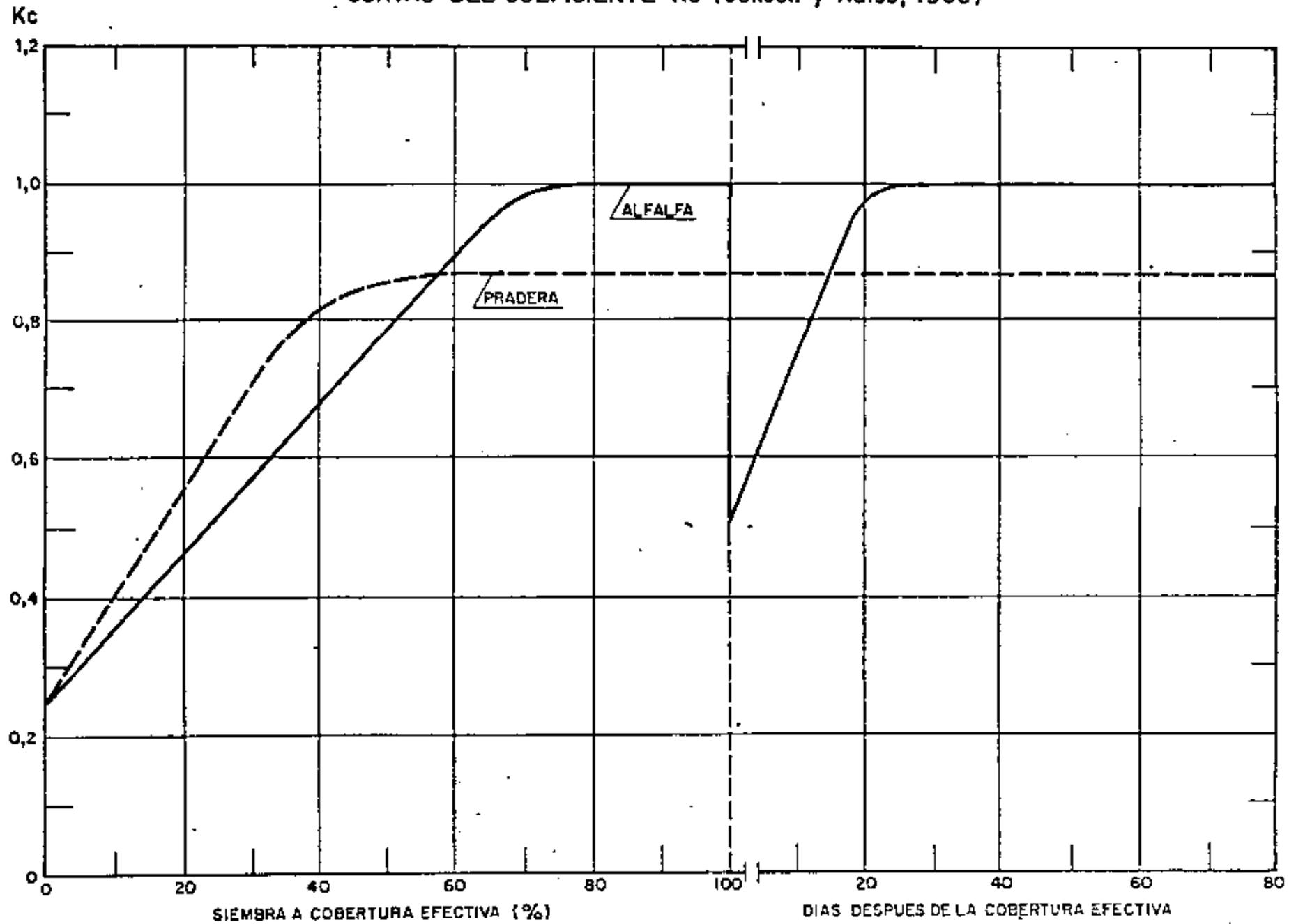


Figura 7

CURVAS DEL COEFICIENTE K_c (Jensen y Haise, 1963)



En este Distrito además de comprobar, con resultados positivos, - varias de las curvas elaboradas por Jensen, se ha obtenido la correspondiente al nogal americano.

3.2.2.1.- Ajuste del coeficiente de cultivo

También se prevé la alteración del coeficiente obtenido si las vi- sitas de campo así lo aconsejan.

Cuando el agua del suelo limita el desarrollo del cultivo, K_c es - el coeficiente que ajusta la ETP, (7) y (11), a las disponibilidades de hume- dad del suelo en el momento de realizar los cálculos. La reducción es pequeña cuando la humedad del suelo es elevada y va siendo mayor conforme las disponi- bilidades de agua decrecen; K_c varía de 0 a 1. Se supone que K_c es proporci- nal al logaritmo del porcentaje de humedad disponible que existió en el suelo, y se calcula mediante la expresión:

$$K_c = \frac{1}{n} \frac{(AM + 1)}{101}$$

en la cual AM es el porcentaje de agua disponible. Este coeficiente se utili- zaría multiplicando el correspondiente K_c por K_a .

Inmediatamente después de un riego o una lluvia intensa, puede ha- ber un incremento de la ETP a causa de la mayor evaporación que se produce en la superficie del suelo saturado. Este incremento se tiene en cuenta por me- dio del coeficiente K_s , al que se asignan los siguientes valores:

Primer día después del riego o lluvia: $(0,9 - K_s)$ 0,8
 Segundo día después del riego o lluvia: $(0,9 - K_s)$ 0,5
 Tercer día después del riego o lluvia: $(0,9 - K_s)$ 0,3

Este coeficiente se utilizaría sumando al coeficiente de cultivo el valor K_s .

3.3.- OBTENCIÓN DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS NECESARIAS PARA EL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.

Al exponer los métodos de cálculo de la evapotranspiración poten- cial se ha podido ver la necesidad de determinar, para su evaluación, numero- sas variables meteorológicas.

En este apartado se comentan someramente dichas variables y se describen los instrumentos necesarios para su obtención (12) y (13). Se ha mantenido el orden en que son requeridas estas magnitudes en los métodos de cálculo de ETP anteriormente explicados.

3.3.1.- Temperatura máxima, mínima y media

Los termómetros de temperatura máxima y de temperatura mínima deben situarse a 1,50 m. de suelo en una garita con las paredes de madera, tipo persiana, que permiten la libre circulación del aire pero evitan la acción de la radiación solar directa y la reverberación del suelo y objetos circundantes.

En la fotografía nº 7 figuran un termómetro de máxima y otro de mínima.

La temperatura media se obtiene a partir de ambas.

3.3.2.- Radiación solar (R_s)

Prácticamente, toda la energía que produce y mantiene los movimientos y variaciones de la atmósfera llega del sol en forma de radiación solar.

La radiación solar es el factor principal en las ecuaciones de balance de energía que rigen la evapotranspiración.

Los instrumentos que se utilizan para valorar la radiación solar son de varios tipos.

a) - Pilas termoeléctricas

Las termopilas están constituidas por dos parejas termoeléctricas dispuestas en serie. Estas parejas se comportan como dos soldaduras y desarrollan, cuando una de ellas es calentada, una fuerza electromotriz que es función de la diferencia de temperatura entre las dos soldaduras. La conversión de radiación incidente en calor se obtiene por medio de un cuerpo negro.

b) - Pireliómetros

La medida absoluta, de la energía solar consiste en transformar en calor, en un calorímetro, la radiación interceptada por un tubo dirigido hacia el sol. La transformación se hace

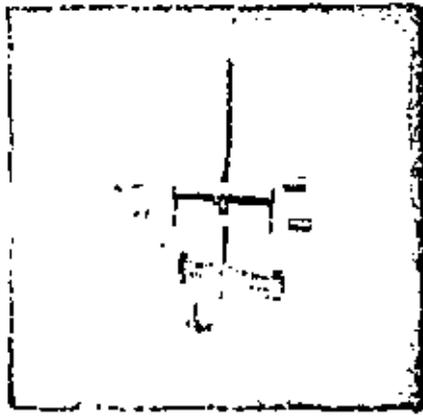


Foto 7. TERMOMETROS DE MAXIMA Y MINIMA

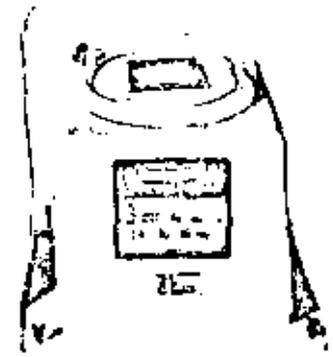


Foto 8. PIRANOMETRO

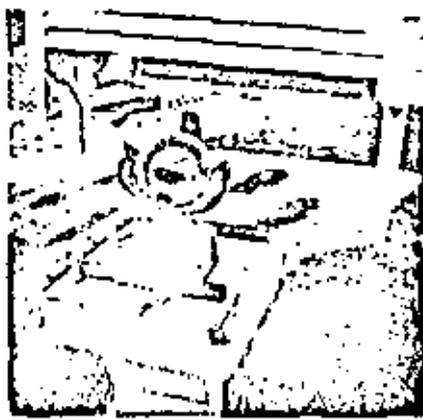


Foto 9. HELIOGRAFO

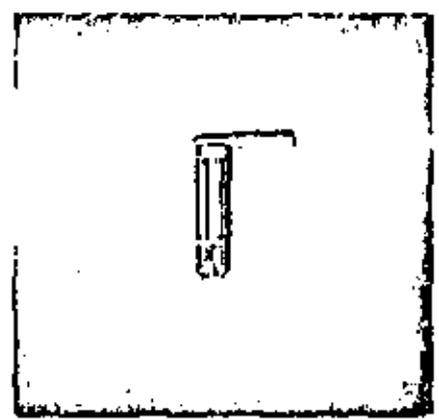


Foto 10. PSICROMETRO

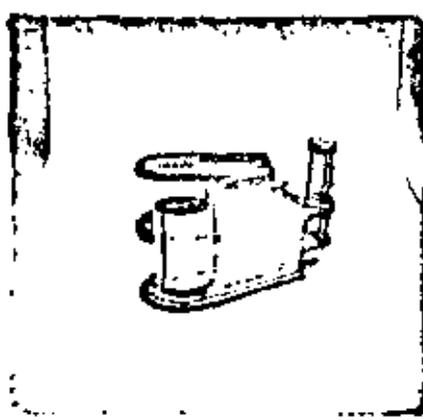


Foto 11. HIGROTERMÓGRAFO

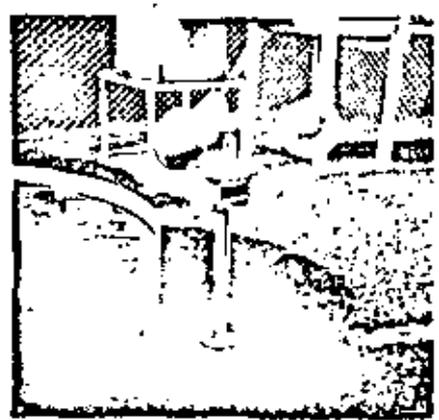


Foto 12. ANEMOMETRO

en el centro de un cuerpo negro. Este tipo de medidas es extremadamente delicado como todas las medidas calorimétricas.

c) - Piranómetros

Mientras el pireliómetro apunta al sol, el piranómetro recibe, en principio, la totalidad de la radiación solar incidente sobre una superficie horizontal al nivel del suelo.

En los piranómetros de termopilas la superficie sensible es una termopila empotrada en un apoyo metálico, provisto de un nivel de burbuja.

Los piranómetros de dos láminas se componen de dos láminas idénticas montadas en serie pero trabajando en sentido inverso una de las cuales es negra y la otra blanca.

Los piranómetros totalizadores de destilación tienen como principio utilizar el calor desarrollado en el seno del receptor, para la destilación de un líquido. La cantidad de líquido destilado es, en principio, proporcional a la energía global de la radiación solar durante el periodo de referencia escogido.

En la fotografía nº 8 se muestra un modelo de piranómetro indicador e integrador.

3.3.3.- Horas de sol (n)

El número de horas de insolación no aparece, en los métodos de evapotranspiración expuestos, como variable meteorológica de utilización directa. Sin embargo, pueda emplearse para estimar el valor de la radiación solar si se carece de medidas directas de ésta.

Las horas de insolación se determinan por medio del heliógrafo, fotografía nº 9, que está constituido por una esfera maciza de cristal óptico encargada de concentrar los rayos de sol en una banda de papel graduado, convenientemente curvada y orientada. Cuando el sol brilla, la temperatura desarrollada en el foco del aparato es suficiente para carbonizar el papel.

3.3.4.- Humedad relativa ($\frac{e}{e_s} \times 100$), tensión de vapor (e) y punto de rocío

Se determinan por medio de un psicrómetro con auxilio de las correspondientes tablas. El psicrómetro consta de un juego de dos termómetros iguales, uno de los cuales, llamado "termómetro seco", sirve sencillamente pa

ra obtener la temperatura del aire, y el otro, llamado termómetro húmedo, — tiene el depósito recubierto con una vaina de muselina humedecida por medio de una mecha que la pone en comunicación con un depósito de agua destilada. El agua que empapa la muselina se evapora y como para ello necesita calor — lo toma del termómetro, cuya temperatura baja. Ahora bien, la cantidad de — agua evaporada depende de la humedad relativa del aire (*), si el aire está saturado es evidente que no podrá admitir ninguna cantidad de vapor, mientras que si está muy seco la evaporación habrá de ser muy activa.

Es sabido que a cada temperatura corresponde una tensión máxima de vapor, recíprocamente a cada tensión del vapor corresponde una temperatura saturante, ésta es precisamente el punto de rocío. Es decir que si se — dispone de una tabla o un gráfico que indiquen, para cada temperatura la — tensión máxima de vapor, la misma tabla o gráfico, usados a la inversa, nos proporcionará el punto de rocío. El punto de rocío, pues, no depende más — que de la tensión actual de vapor y en cierta manera estos dos índices son equivalentes.

Las tablas psicrométricas permiten obtener la humedad relativa y la tensión de vapor conociendo el descenso de temperatura y la temperatura del aire. El descenso de temperatura es la diferencia entre los dos termómetros del psicrómetro y la temperatura del aire la da el termómetro seco. En la confección de las tablas se ha preferido sustituir la temperatura del termómetro seco por la del húmedo. El punto de rocío solo depende de la tensión y se obtiene después de calcular ésta sirviéndose de la tabla adecuada.

Existen psicrómetros de ventilación natural, que se instalan en un sitio fijo al resguardo de la intemperie, y en los que la ventilación del bulbo húmedo está asegurada por los movimientos convectivos del aire en el interior del resguardo. Dicha ventilación no es desde luego, constante.

Entre los de ventilación forzada figura el denominado de "honda", en el momento de hacer la medida se moja la tela del bulbo húmedo y se le — hace girar a modo de honda, (Fotografía n.º 10). Mas perfecto es el psicrómetro de aspiración, espiro-psicrómetro, en el cual la ventilación se produce por una pequeña turbina accionada por un pequeño motor.

La humedad relativa puede obtenerse también mediante la utilización de los higrómetros o higrógrafos, basados en la cualidad que, casi todas las sustancias orgánicas tienen, de absorber la humedad e hincharse; el cabello humano, en particular, la posee en alto grado y se utiliza como elemento sensible en dichos aparatos.

* Recuérdese que la humedad relativa es la relación entre la tensión actual de vapor y la tensión máxima de vapor.

En la fotografía n° 11 figura un higrómetrografo, instrumento que transmite a una banda móvil las variaciones de temperatura y humedad, que quedan registradas en dicha banda.

3.3.5.- Velocidad del viento (u_2)

Puede medirse con los denominados anemómetros que permiten obtener la velocidad media del viento durante un periodo determinado. El anemómetro totalizador más corrientemente empleado (fotografía n° 12), lleva unas cazoletas semiesféricas que constituyen un molinete cuya rotación arrastra un eje que acciona un contador por medio de un juego de engranajes. Los contadores actualmente utilizados son de lectura directa.

3.3.6.- Obtención de datos de evaporación en depósitos de Clase A (U.S. - Weather Bureau).

El tanque de evaporación (14), construido con chapa galvanizada, es un cilindro de 120 cm. de diámetro y 25 cm. de altura; va montado sobre una plataforma cuadrada de 125 cm. de lado construida con tablas de madera. Este tanque, tiene en su pared interior dos marcas o rayas blancas horizontales (la más alta a 5 cm. y la más baja a 7,5 cm. de su borde superior) — que indican los niveles entre los que debe mantenerse la superficie del agua que envasa el tanque (fotografía n° 13).

Dentro del tanque, véase fotografía n° 14, hay un "tubo tranquilizador", accesorio consistente en un tubo de latón de 210 mm. de altura y 90 mm. de diámetro, soldado en su parte inferior a una plataforma triangular de 340 mm. de lado. Esta plataforma está provista en sus vértices de tres tornillos de nivelación que ajustan al instalar el mismo, de forma que el borde superior del tubo queda en un plano horizontal. Una vez fijado y nivelado este tubo dentro del tanque, debe procurarse que su posición permanezca invariable en lo sucesivo.

La medida del nivel de agua en el tanque, se hace mediante el empleo del "tornillo de medida", (fotografía n° 15). Consiste éste en un vastago recto (estriado y con rosca y que termina en un gancho de punta afilada) que puede desplazarse longitudinalmente sobre su propio eje mediante una pieza giratoria o tuerca hembra que va alojada en un disco cuyo estriado interior corresponde al del vastago. Este disco está unido a tres regletas metálicas, de sección rectangular y caras planas, que quedan siempre perpendiculares al vastago roscado y que son las que se apoyan en los bordes del "tubo tranquilizador". De esta forma, el vastago queda siempre en posición vertical cuando las regletas se apoyan sobre el borde superior del tubo.

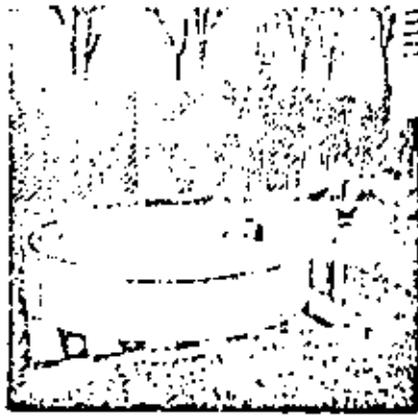


Foto 13. TANQUE DE EVAPORACION

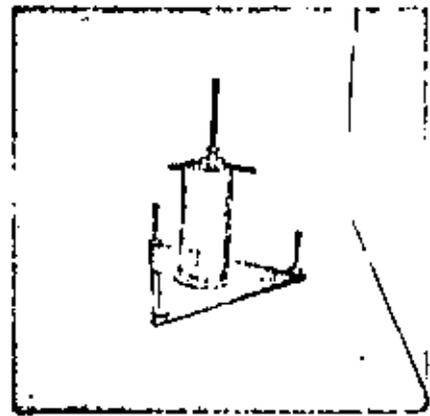


Foto 14. TUBO TRANQUILIZADOR

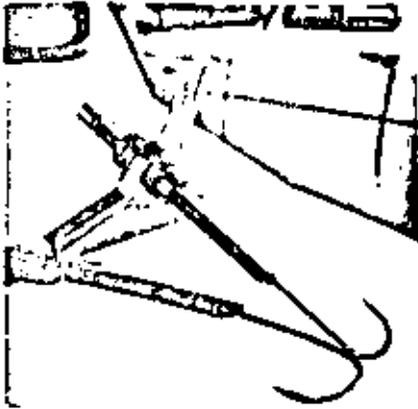


Foto 15. TORNILLO MEDIDOR

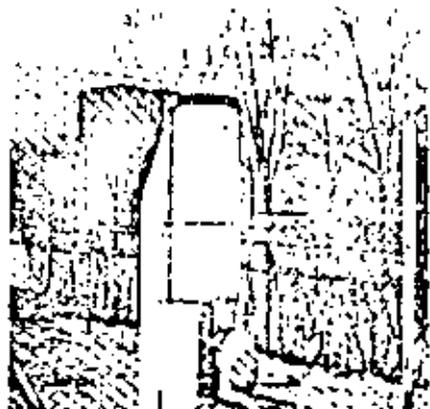


Foto 16. PLUVIOMETRO



Foto 17. COMPONENTES DEL PLUVIOMETRO

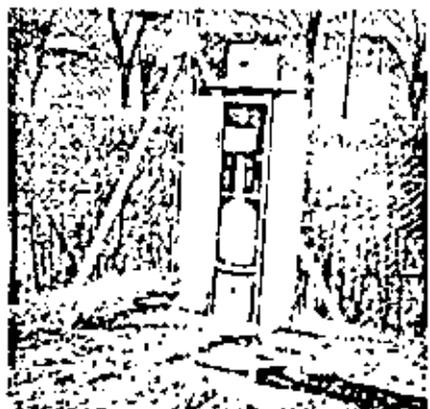


Foto 18. PLUVIOGRAFO

Colocando el tornillo de medida con las regletas apoyadas en el tubo y el gancho del vastago dentro del tubo, la medida se hace girando la tuerca en uno y otro sentido hasta que la punta del gancho quede rasante con la superficie del agua.

El tanque debe situarse de forma que no reciba sombra durante el día. Debe evitarse la presencia en sus contornos de todo objeto u obstáculo que pueda ocasionar dicha sombra.

El cálculo de la evaporación en el tanque se realiza de la siguiente forma:

a) Cuando no se han registrado precipitaciones

<u>Lectura</u>	<u>Nivel en tanque</u>	<u>Evaporación en tanque</u>
1	83,5 mm.	
2	73,2 mm.	10,3 mm.

b) Cuando se han registrado precipitaciones.

A la lectura anterior de nivel de agua en el tanque, se le suma la precipitación recogida, que se habrá registrado en un pluviómetro o pluviógrafo y de esa suma se resta la lectura en el momento de la observación, teniendo en cuenta que esa diferencia tiene que ser positiva o cero pero nunca negativa.

<u>Lectura</u>	<u>Nivel en tanque</u>	<u>Evaporación en tanque</u>	<u>Precipitación</u>
1	98,5 mm.		
2	97,8 mm.	2,7 mm.	2,0 mm.

$$98,5 + 2,0 = 100,5 \text{ mm.}$$

$$100,5 - 97,8 = 2,7 \text{ mm.}$$

<u>Lectura</u>	<u>Nivel en tanque</u>	<u>Evaporación en tanque</u>	<u>Precipitación</u>
1	98,5 mm.		
2	122,8 mm.	0,9 mm.	29,2 mm.

$$98,5 + 29,2 = 123,7 \text{ mm.}$$

$$123,7 - 122,8 = 0,9 \text{ mm.}$$

Tabla del valor de agua salada (milbares)

Sal	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	4.01	4.10	4.18	4.27	4.35	4.43	4.51	4.59	4.67	4.75
2	4.83	4.91	4.99	5.07	5.15	5.23	5.31	5.39	5.47	5.55
3	5.63	5.71	5.79	5.87	5.95	6.03	6.11	6.19	6.27	6.35
4	6.43	6.51	6.59	6.67	6.75	6.83	6.91	6.99	7.07	7.15
5	7.23	7.31	7.39	7.47	7.55	7.63	7.71	7.79	7.87	7.95
6	8.03	8.11	8.19	8.27	8.35	8.43	8.51	8.59	8.67	8.75
7	8.83	8.91	8.99	9.07	9.15	9.23	9.31	9.39	9.47	9.55
8	9.63	9.71	9.79	9.87	9.95	10.03	10.11	10.19	10.27	10.35
9	10.43	10.51	10.59	10.67	10.75	10.83	10.91	10.99	11.07	11.15
10	11.23	11.31	11.39	11.47	11.55	11.63	11.71	11.79	11.87	11.95
11	12.03	12.11	12.19	12.27	12.35	12.43	12.51	12.59	12.67	12.75
12	12.83	12.91	12.99	13.07	13.15	13.23	13.31	13.39	13.47	13.55
13	13.63	13.71	13.79	13.87	13.95	14.03	14.11	14.19	14.27	14.35
14	14.43	14.51	14.59	14.67	14.75	14.83	14.91	14.99	15.07	15.15
15	15.23	15.31	15.39	15.47	15.55	15.63	15.71	15.79	15.87	15.95
16	16.03	16.11	16.19	16.27	16.35	16.43	16.51	16.59	16.67	16.75
17	16.83	16.91	16.99	17.07	17.15	17.23	17.31	17.39	17.47	17.55
18	17.63	17.71	17.79	17.87	17.95	18.03	18.11	18.19	18.27	18.35
19	18.43	18.51	18.59	18.67	18.75	18.83	18.91	18.99	19.07	19.15
20	19.23	19.31	19.39	19.47	19.55	19.63	19.71	19.79	19.87	19.95
21	20.03	20.11	20.19	20.27	20.35	20.43	20.51	20.59	20.67	20.75
22	20.83	20.91	20.99	21.07	21.15	21.23	21.31	21.39	21.47	21.55
23	21.63	21.71	21.79	21.87	21.95	22.03	22.11	22.19	22.27	22.35
24	22.43	22.51	22.59	22.67	22.75	22.83	22.91	22.99	23.07	23.15
25	23.23	23.31	23.39	23.47	23.55	23.63	23.71	23.79	23.87	23.95
26	24.03	24.11	24.19	24.27	24.35	24.43	24.51	24.59	24.67	24.75
27	24.83	24.91	24.99	25.07	25.15	25.23	25.31	25.39	25.47	25.55
28	25.63	25.71	25.79	25.87	25.95	26.03	26.11	26.19	26.27	26.35
29	26.43	26.51	26.59	26.67	26.75	26.83	26.91	26.99	27.07	27.15
30	27.23	27.31	27.39	27.47	27.55	27.63	27.71	27.79	27.87	27.95
31	28.03	28.11	28.19	28.27	28.35	28.43	28.51	28.59	28.67	28.75
32	28.83	28.91	28.99	29.07	29.15	29.23	29.31	29.39	29.47	29.55
33	29.63	29.71	29.79	29.87	29.95	30.03	30.11	30.19	30.27	30.35
34	30.43	30.51	30.59	30.67	30.75	30.83	30.91	30.99	31.07	31.15
35	31.23	31.31	31.39	31.47	31.55	31.63	31.71	31.79	31.87	31.95
36	32.03	32.11	32.19	32.27	32.35	32.43	32.51	32.59	32.67	32.75
37	32.83	32.91	32.99	33.07	33.15	33.23	33.31	33.39	33.47	33.55
38	33.63	33.71	33.79	33.87	33.95	34.03	34.11	34.19	34.27	34.35
39	34.43	34.51	34.59	34.67	34.75	34.83	34.91	34.99	35.07	35.15
40	35.23	35.31	35.39	35.47	35.55	35.63	35.71	35.79	35.87	35.95
41	36.03	36.11	36.19	36.27	36.35	36.43	36.51	36.59	36.67	36.75
42	36.83	36.91	36.99	37.07	37.15	37.23	37.31	37.39	37.47	37.55
43	37.63	37.71	37.79	37.87	37.95	38.03	38.11	38.19	38.27	38.35
44	38.43	38.51	38.59	38.67	38.75	38.83	38.91	38.99	39.07	39.15
45	39.23	39.31	39.39	39.47	39.55	39.63	39.71	39.79	39.87	39.95
46	40.03	40.11	40.19	40.27	40.35	40.43	40.51	40.59	40.67	40.75
47	40.83	40.91	40.99	41.07	41.15	41.23	41.31	41.39	41.47	41.55
48	41.63	41.71	41.79	41.87	41.95	42.03	42.11	42.19	42.27	42.35
49	42.43	42.51	42.59	42.67	42.75	42.83	42.91	42.99	43.07	43.15
50	43.23	43.31	43.39	43.47	43.55	43.63	43.71	43.79	43.87	43.95

ANEJO N° 9

Valores mensuales de la radiación global en langllos/día en el supuesto de que no existiese atmósfera.

Lat. N	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
20°	642	732	834	902	930	934	930	902	843	766	656	610
21°	629	722	827	900	932	938	932	901	837	746	643	598
22°	618	711	820	898	934	942	935	900	832	736	631	582
23°	602	700	813	896	936	946	937	899	826	727	619	567
24°	589	689	806	893	938	950	940	897	821	718	608	553
26°	575	678	799	891	940	954	942	896	816	708	593	539
26°	582	667	792	889	942	958	945	895	810	698	580	525
27°	548	667	785	886	944	962	948	894	804	689	567	511
28°	535	648	778	884	946	965	950	893	799	678	554	497
29°	521	638	771	882	948	968	952	892	793	668	541	483
30°	508	634	764	880	950	972	955	891	788	658	528	469
31°	493	611	755	875	949	973	958	889	780	646	514	454
32°	479	598	746	871	948	974	956	888	772	634	500	439
33°	464	585	737	866	948	975	956	887	764	622	486	424
34°	450	572	728	861	948	977	958	886	757	609	473	410
35°	438	559	719	856	947	978	957	885	749	597	459	395
36°	423	547	709	851	947	980	957	884	741	585	445	381
37°	407	534	700	846	946	981	957	883	734	573	432	366
38°	393	521	691	842	945	983	958	882	726	560	418	352
39°	378	508	682	837	945	984	958	881	718	548	404	337
40°	364	496	673	833	944	985	958	880	710	536	390	323
41°	350	481	662	828	942	985	956	882	700	523	376	309
42°	336	468	650	819	939	985	954	880	689	510	360	294
43°	322	454	639	812	936	984	952	840	679	497	345	280
44°	307	441	628	805	934	984	950	834	669	484	331	266
45°	293	427	616	798	932	984	948	829	658	470	317	251
46°	279	414	605	791	929	984	946	823	648	457	303	237
47°	265	400	594	784	927	983	944	817	637	444	289	223
48°	250	387	582	778	925	983	942	812	627	430	274	209
49°	236	373	571	771	922	983	940	806	617	417	260	194
50°	222	360	560	764	920	983	938	800	607	404	246	180

ANEJO N° 10

Horas de inspección máximas posibles (N).

Lat.M	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
25°	10,8	11,4	12,0	12,7	13,4	13,7	13,8	13,0	12,2	11,4	10,9	10,8
26°	10,7	11,3	12,0	12,7	13,4	13,9	13,8	13,0	12,2	11,4	10,9	10,8
27°	10,7	11,3	12,0	12,8	13,6	13,8	13,7	12,1	12,2	11,4	10,8	10,4
28°	10,8	11,3	12,0	12,8	13,5	13,9	13,7	13,1	12,2	11,3	10,8	10,4
29°	10,4	11,3	12,0	12,6	13,6	13,9	13,8	12,1	12,4	11,3	10,8	10,3
30°	10,6	11,2	12,0	13,0	13,7	14,0	13,9	13,2	12,4	11,3	10,7	10,2
31°	10,8	11,2	12,0	13,0	13,7	14,2	13,9	13,2	12,4	11,3	10,7	10,2
32°	10,3	11,1	12,0	13,0	13,8	14,3	14,0	13,3	12,4	11,3	10,6	10,1
33°	10,2	11,1	12,0	13,1	13,8	14,4	14,2	13,3	12,4	11,2	10,8	10,0
34°	10,2	10,9	12,0	13,1	13,9	14,4	14,2	13,5	12,4	11,2	10,4	10,0
35°	10,1	10,9	12,0	13,1	14,0	14,6	14,3	13,5	12,4	11,2	10,3	9,9
36°	10,1	10,9	12,0	13,2	14,0	14,8	14,4	13,5	12,4	11,2	10,3	9,8
37°	10,0	10,8	12,0	13,2	14,2	14,8	14,5	13,8	12,4	11,2	10,2	9,6
38°	9,9	10,8	12,0	13,2	14,3	14,9	14,5	13,8	12,8	11,0	10,1	9,6
39°	9,8	10,8	12,0	13,3	14,3	14,9	14,8	13,7	12,5	11,0	10,1	9,3
40°	9,8	10,7	12,0	13,2	14,4	15,0	14,7	13,7	12,8	11,0	10,0	9,4
41°	9,8	10,7	12,0	13,3	14,5	15,1	14,7	13,8	12,8	11,0	9,8	9,3
42°	9,8	10,7	12,0	13,4	14,6	15,2	14,9	13,8	12,6	10,9	9,8	9,2
43°	9,4	10,6	11,8	13,4	14,6	15,4	15,0	12,9	12,8	10,9	9,7	8,9
44°	9,4	10,6	11,6	13,6	14,7	15,5	15,1	13,9	12,8	10,9	9,6	8,8
45°	9,3	10,4	11,8	13,6	14,9	15,6	15,2	14,0	12,8	10,8	9,5	8,7
46°	9,2	10,4	11,8	13,6	15,0	15,7	15,3	14,2	12,8	10,8	9,5	8,6
47°	9,9	10,3	11,8	13,7	15,1	15,8	15,4	14,2	12,5	10,7	9,4	8,5
48°	8,8	10,3	11,8	13,7	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,7	9,2	8,4
49°	8,7	10,2	11,8	13,7	15,3	16,1	15,7	14,4	12,6	10,7	9,1	8,2
50°	8,8	10,0	11,8	13,8	15,4	16,3	15,9	14,5	12,7	10,6	9,1	8,1

ANEJO Nº 11

RADIACION SOLAR MEDIA (CAL CM⁻² DIA⁻¹) EN DIAS SIN NUBES (BUOYKO, 1963)

Latitud °N	MES											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
60	58	152	319	533	671	763	690	539	377	197	87	35
55	100	219	377	558	690	780	706	577	430	252	133	74
50	155	290	429	617	716	790	729	616	480	313	193	126
45	215	355	477	650	729	797	748	648	527	371	260	190
40	284	432	529	677	742	800	755	674	557	426	323	248
35	345	496	568	700	742	800	761	697	603	474	380	313
30	403	549	600	713	742	793	755	703	637	519	437	371
25	455	595	629	720	742	780	745	703	660	561	486	423
20	500	634	652	720	725	750	729	697	680	597	537	474
15	545	673	671	713	706	733	706	684	697	623	580	519
10	584	701	681	707	684	700	681	665	707	648	617	555
5	623	722	690	700	652	663	645	645	710	665	660	606
0	652	740	694	660	523	627	616	623	707	684	660	619

ANEXO Nº 14

Valores de $11,71 \times 10^{-6} T^4$

<u>T</u> ^{°C}	<u>0.0</u>	<u>0.1</u>	<u>0.2</u>	<u>0.3</u>	<u>0.4</u>	<u>0.5</u>	<u>0.6</u>	<u>0.7</u>	<u>0.8</u>	<u>0.9</u>
-5	805,8	804,9	804,0	803,1	802,2	801,3	800,4	800,5	800,6	800,7
-4	814,9	814,0	813,1	812,2	811,3	810,4	809,5	808,6	807,8	806,9
-3	824,1	823,2	822,3	821,3	820,4	819,5	818,6	817,7	816,8	815,9
-2	833,4	832,5	831,5	830,6	829,7	828,7	827,8	826,9	826,0	825,0
-1	842,8	841,8	840,9	840,0	839,0	838,1	837,2	836,2	835,3	834,3
0	852,3	851,3	850,4	849,4	848,5	847,5	846,6	845,6	844,7	843,7
1	862,0	861,0	860,1	859,1	858,2	857,2	856,3	855,3	854,4	853,4
2	872,0	871,0	870,1	869,1	868,2	867,2	866,3	865,3	864,4	863,4
3	882,4	881,4	880,5	879,5	878,6	877,6	876,7	875,7	874,8	873,8
4	892,3	891,3	890,4	889,4	888,5	887,5	886,6	885,6	884,7	883,7
5	902,4	901,4	900,5	899,5	898,6	897,6	896,7	895,7	894,8	893,8
6	912,8	911,8	910,9	909,9	908,9	908,0	907,0	906,1	905,1	904,2
7	923,0	922,0	921,1	920,1	919,2	918,2	917,3	916,3	915,4	914,4
8	933,2	932,2	931,3	930,3	929,4	928,4	927,5	926,5	925,6	924,6
9	943,7	942,7	941,8	940,8	939,8	938,9	937,9	937,0	936,0	935,1
10	954,2	953,2	952,3	951,3	950,4	949,4	948,5	947,5	946,6	945,6
11	965,0	964,0	963,1	962,1	961,2	960,2	959,3	958,3	957,4	956,4
12	975,9	974,9	974,0	973,0	972,1	971,1	970,2	969,2	968,3	967,3
13	986,7	985,7	984,8	983,8	982,9	981,9	981,0	980,0	979,1	978,1
14	997,8	996,8	995,9	994,9	994,0	993,0	992,1	991,1	990,2	989,2
15	1008,9	1007,9	1007,0	1006,0	1005,1	1004,1	1003,2	1002,2	1001,3	1000,3
16	1020,2	1019,2	1018,3	1017,3	1016,4	1015,4	1014,5	1013,5	1012,6	1011,6
17	1031,6	1030,6	1029,7	1028,7	1027,8	1026,8	1025,9	1024,9	1024,0	1023,0
18	1043,1	1042,1	1041,2	1040,2	1039,3	1038,3	1037,4	1036,4	1035,5	1034,5
19	1054,8	1053,8	1052,9	1051,9	1051,0	1050,0	1049,1	1048,1	1047,2	1046,2
20	1066,5	1065,5	1064,6	1063,6	1062,7	1061,7	1060,8	1059,8	1058,9	1057,9
21	1078,4	1077,4	1076,5	1075,5	1074,6	1073,6	1072,7	1071,7	1070,8	1069,8
22	1090,4	1089,4	1088,5	1087,5	1086,6	1085,6	1084,7	1083,7	1082,8	1081,8
23	1102,6	1101,6	1100,7	1099,7	1098,8	1097,8	1096,9	1095,9	1095,0	1094,0
24	1114,8	1113,8	1112,9	1111,9	1111,0	1110,0	1109,1	1108,1	1107,2	1106,2
25	1127,1	1126,1	1125,2	1124,2	1123,3	1122,3	1121,4	1120,4	1119,5	1118,5
26	1139,6	1138,6	1137,7	1136,7	1135,8	1134,8	1133,9	1132,9	1132,0	1131,0
27	1152,3	1151,3	1150,4	1149,4	1148,5	1147,5	1146,6	1145,6	1144,7	1143,7
28	1165,0	1164,0	1163,1	1162,1	1161,2	1160,2	1159,3	1158,3	1157,4	1156,4
29	1177,9	1176,9	1176,0	1175,0	1174,1	1173,1	1172,2	1171,2	1170,3	1169,3
30	1190,8	1189,8	1188,9	1187,9	1187,0	1186,0	1185,1	1184,1	1183,2	1182,2

ANEJO Nº 15

VALORES DEL COEFICIENTE C_{et} (Doorembos y Pruitt, 1974)

VELOCIDAD DEL VIENTO	TANQUE SOBRE CESPED				TANQUE SOBRE SUELO SECO (1)			
	L(2)	Humedad relativa % (3)			L(2)	Humedad relativa % (3)		
		20-40	40-70	70		20-40	40-70	70
Ligero 170 Km/día	0	0,55	0,65	0,75	0	0,7	0,8	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,6	0,7	0,8
	100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,5	0,6	0,7
Moderado 170 - 425 Km/día	0	0,5	0,6	0,65	0	0,65	0,75	0,8
	10	0,6	0,7	0,75	10	0,55	0,65	0,7
	100	0,65	0,75	0,8	100	0,5	0,6	0,65
	1000	0,7	0,8	0,8	1000	0,45	0,55	0,6
Fuerte 425 - 700 Km/día	0	0,45	0,5	0,6	0	0,6	0,65	0,7
	10	0,55	0,6	0,65	10	0,5	0,55	0,65
	100	0,6	0,65	0,7	100	0,54	0,5	0,6
	1000	0,65	0,7	0,75	1000	0,4	0,45	0,55
Muy Fuerte 700 Km/día	0	0,4	0,45	0,5	0	0,5	0,6	0,65
	10	0,45	0,55	0,6	10	0,45	0,5	0,55
	100	0,5	0,6	0,65	100	0,4	0,45	0,5
	1000	0,55	0,6	0,65	1000	0,35	0,4	0,45

(1) La humedad del viento influye en las lecturas del depósito; la mayor o menor sequedad de la superficie que recorre el viento hasta llegar al tanque afecta a dicha humedad. Este es el motivo de que en la tabla anterior se tenga en cuenta el valor L, que indica la longitud de césped o terreno seco que, en cada caso, recorre el viento dominante hasta llegar al tanque.

(2) Estos coeficientes sólo se aplican cuando la superficie del suelo está realmente seca. Después de una lluvia, (durante 1 ó 2 días en verano y durante períodos más largos en las restantes estaciones), estos depósitos se consideran equivalentes a los que están sobre césped. Si se está utilizando un tanque sobre césped y hay una lluvia se considera L = 1000 m.

(3) Media de las humedades relativas máxima y mínima.

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



MECANIZACION Y AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

NECESIDADES DE AGUA EN LOS CULTIVOS

DR. FAUSTINO GARCIA LOZANO

JULIO, 1980

TEMA 23

NECESIDADES DE AGUA EN LOS CULTIVOS

No es preciso destacar la importancia básica que, en el planteamiento y diseño de un proyecto de riego, tiene el conocimiento previo de las necesidades hídricas de los cultivos que se atenderán con su realización. Conocimiento no solo anual, sino a lo largo de su desarrollo vegetativo y, dentro de él, en el mes de mayor demanda y en los momentos críticos en que su aplicación por el riego tiene influencia marcada en la producción óptima.

Asimismo, con importancia paralela a la anterior para lograr un resultado económico positivo en la realización de todo proyecto de riego, se plantea conocer aquellas necesidades de agua que proporcionan el mayor volumen de producción por m.³ de agua empleado, por unidad de superficie y las que conducen a la producción más económica.

El conocimiento, previo a la redacción de un proyecto de riego, de las necesidades en agua de los cultivos conduce a resultados prácticos con incidencia marcada y positiva en la rentabilidad de su realización, como los siguientes:

- a) - Realizar un diseño de las redes de conducción precisas para lograr una óptima distribución del agua.

Es decir, poder plantear con estos datos la solución del problema de selección de diámetros óptimos de tubería, o sección de canal, y del caudal óptimo que debe ser captado en la fuente de toma o suministro.

- b) - Poder redactar, como base de un funcionamiento eficaz de la red de riego proyectada, un programa de distribución de agua a las unidades de explotación acorde con el volumen y momento de riego que demandan los cultivos según su etapa o fase de desarrollo, sin afectar a su producción,
- c) - Conocer, paralelamente a la redacción del Proyecto de riego, el coste anual que precisa su funcionamiento, por cultivo y por unidad de explotación que servirá. Coste que permitirá poder redactar el estudio económico de su viabilidad antes de su ejecución y poder elegir a la vista de sus resultados el sistema de riego, o de aplicación del agua al terreno, más idóneo para reducir costes de producción y lograr precios competitivos para esta.
- d) - Poder establecer unas tarifas de riego racionales para el Proyecto que se estudie, con aplicación una vez realizado, y ponerlo en servicio haciendo intervenir los factores culturales y técnicos que inciden en la aplicación del agua. Factores en los que entran aquellos derivados del conocimiento, lo más exacto posible, de las necesidades de agua en los cultivos, como los siguientes:
 - Porcentaje de agua en exceso sobre el volumen óptimo por Ha. que puede ser admisible.
 - Porcentaje de agua en defecto del volumen óptimo por Ha. que puede ser aplicado en casos de estiajes acusados.
 - Consumo de agua diario, relacionado con el número anual de días con probabilidad de desarrollo vegetativo y porcentaje de los cultivos admisibles.

En relación con este último apartado, acompañamos a este trabajo un programa de posible aplicación, teniendo en cuenta los factores enumerados, para fijar una tarifa racional de riego, teniendo en cuenta las características culturales y técnicas que en él intervienen. Factores y características que, en España, país con tradición en el riego, al disponer hasta hace unos 20 años de posibilidades hidráulicas superiores a las su-

perfidias en riego y contar la producción agrícola con fácil salida al mercado, al ser su demanda interior suficiente para absorberla, no se había sentido la necesidad acuciante de tenerlos en cuenta para conocer con exactitud las necesidades de agua de los cultivos, tanto anuales como estacionales. Asimismo, el diseño y trazado de redes de conducción en los Proyectos de riego se basaban hasta ese momento, como ocurría en casi todos los países, en conducciones a cielo abierto y distribución del agua para el riego por turnos. Con ello, el coste por unidad de superficie transformada, al no ser excesivo, permitía una amplia variabilidad en la capacidad de las redes de conducción, sin grave repercusión en el presupuesto de ejecución de la puesta en riego.

El criterio anterior, en este último decenio, ha variado totalmente, colocándose el conocimiento de las necesidades de agua de los cultivos, como indicábamos anteriormente, al nivel de elemento básico de acción en los amplios programas de transformación en regadío, tanto para los realizados como para aquellos en curso de ejecución o proyecto, buscando, por un lado, su realización económica y, por otro, cubrir, con el mismo volumen de agua utilizado hasta el momento por unidad de superficie, un incremento al máximo de ésta y un mayor rendimiento productivo por m³ de agua empleado en el riego por Ha.

Lo expuesto ha sido la causa de iniciar, en estos últimos años, programas de investigaciones y experiencias en relación con el conocimiento de las necesidades en agua de los cultivos e incidencia en ellas del sistema de riego adoptado. Experiencias cuyos resultados resumidos se exponen en este trabajo, con sus conclusiones, así como las líneas de investigación futuras que de ellas se derivan.

Parece lógico que, antes de entrar en la exposición de los resultados antes mencionada, se dé una ligera descripción del planteamiento de las experiencias realizadas para obtenerlos y caminos seguidos en su realización.

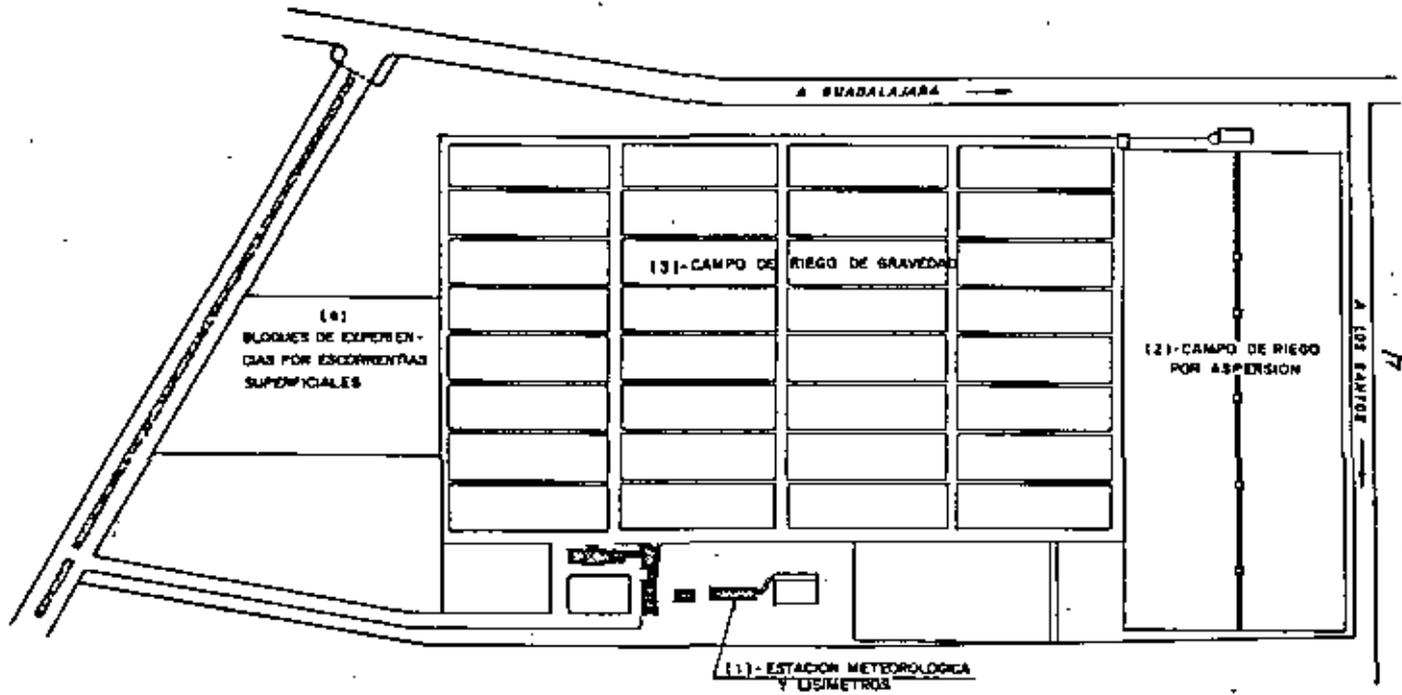
En primer lugar, las experiencias previas realizadas para determinar, o conocer, las necesidades de agua en los cultivos se enfrentaban con la dificultad de no poder seguir de forma continua las variaciones de humedad diarias y a lo largo del ciclo vegetativo en el perfil hídrico de su desarrollo radicular, así como desconocer y no poder determinar con precisión las pérdidas de agua producidas por infiltración o percolación, independientes de las de escurrimiento, y no disponer, para aplicar el agua al terreno, más que de los métodos tradicionales de pie o gravedad, unido

3

FIG. 1.

"EL ENCIN".- Sección de Hidráulica

Escala aproximada 1:2500



en muchos casos a diseños o aplicación de estos con ausencia casi total de factores o parámetros de importancia en el riego, como permeabilidad, infiltración, capacidad de retención total, densidad aparente y capacidad a marchitez.

Lo anterior conducía a tener que realizar los ensayos en lisímetros, con influencia marcada en los resultados del aislamiento material en que el cultivo observado se desarrollaba y con fenómenos de interferencia en los consumos de agua por efecto del microclima que le rodeaba, normalmente ausente de vegetación. Asimismo, a ensayos con contenidos de humedad, en el terreno que sustentaba el cultivo ensayado, próximos a su capacidad máxima de retención, condición que normalmente no se presenta en el cultivo. Por otro lado, este aumento en el contenido de humedad del terreno al realizar el riego facilita una mejor transpiración de la planta y, por tanto, conduce a un mayor consumo de agua sin incidir favorablemente en la producción.

Conscientes de las anomalías anteriores, y con el fin de eliminarlas, planteamos las experiencias para determinar las necesidades de agua en los cultivos sobre el propio terreno, procediendo, previamente, a la elección de un sistema de riego que proporcionara el mayor rendimiento en la utilización del agua, al lado de los tradicionales de pie o escurrimiento. A este respecto, los ensayos realizados con el riego por aspersión recopilados han conducido, una vez examinados, a considerar a este sistema como el de rendimientos más elevados en la aplicación del agua (próximo al 85%) y, por tanto, considerarlo idóneo para el fin anterior.

Con estas premisas, se procedió a redactar un programa de experiencias coordinadas por el Instituto de Hidrología, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, entre la Sección de Hidráulica Agrícola - del Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas, Sección de Física e Hidrodinámica del Suelo del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Centro de Estudios Hidrográficos de la Dirección General de Obras Hidráulicas. Programa basado en utilizar para esta primera fase el campo de experiencias sito en la finca El Encín, Alcalá de Henares (Madrid), que posee el primero de los organismos anteriores, y que está enclavado en la cuenca hidrográfica del río Henares.

De este campo, en la figura nº 1, se muestra croquis, con detalle del emplazamiento de los bloques y parcelas de experiencia, estación meteorológica y lisímetros. Asimismo, los sistemas de riego adoptados en cada superficie de ensayo como comparativos, de pie o escurrimiento y aspersión.

EL ENCIN
Campo de aspersión

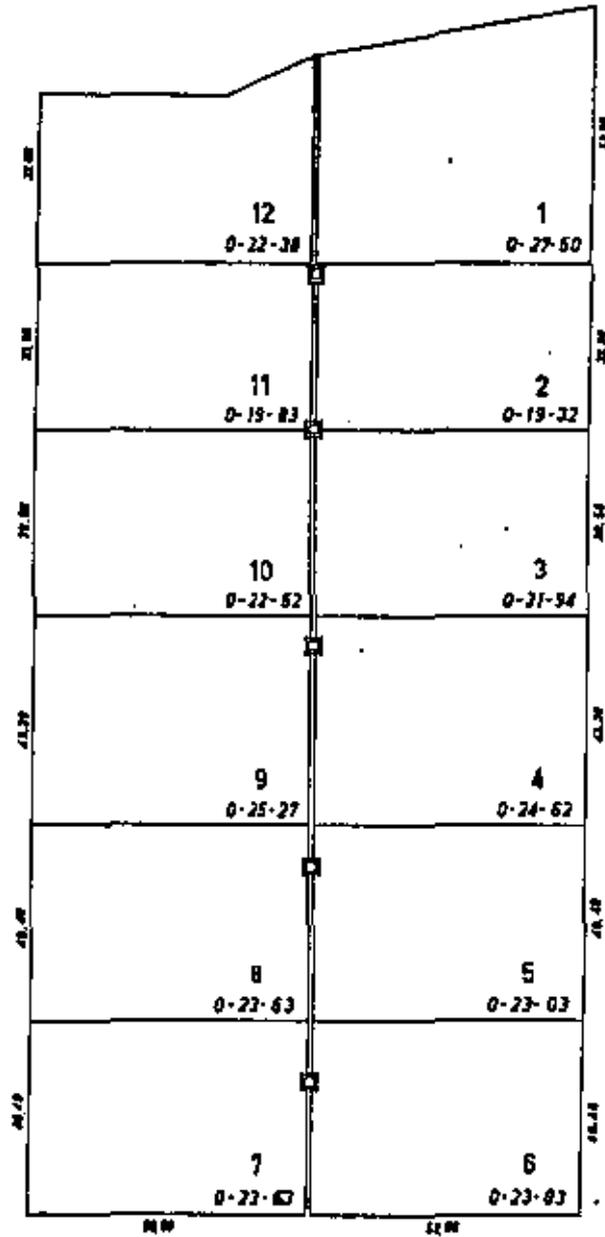


FIG. 2.

ESCALA 1:1.000

6

El programa seguido en estas experiencias, que fueron iniciadas el año 1960, fue el siguiente:

- a) Determinar las necesidades de agua en los cultivos de regadío extensivo siguientes:

Trigo, remolacha azucarera, patata tardía, maíz, alfalfa, habas para grano.

Cultivos los mencionados, elegidos por ser dominantes y característicos en la gran mayoría de las zonas o terrenos denominados de regadío extensivo y ser, por otra parte, de adaptación óptima a las condiciones climáticas de la zona de emplazamiento del campo de experiencias y a las condiciones físicas del terreno.

- b) Establecer, para los ensayos de riego de pie, bloques con dimensiones para el aprovechamiento máximo del agua aplicada, - de 80 x 24 m. De esta forma, cada conjunto de 4 bloques en la misma línea constituiría una parcela de ensayo para cada cultivo, con superficie total $4 \times 80 \times 24 = 0-76-80$ Ha.

Asimismo, para los ensayos de riego por aspersión, como se indica en el croquis de la figura 2*, se establecieron 12 bloques de riego, con superficie media 0-23-20 Ha. y dimensiones 58 x 40 m. Cada dos de estos bloques contiguos fue ocupado por un mismo cultivo, teniendo una superficie media de 0-46-40 Ha.

La agrupación de bloques para constituir las parcelas de ensayo fué, por cultivo, la siguiente:

Bloque 1 con 12, bloque 2 con 11, 3 con 10, 4 con 9, 5 con 8 y 6 con 7.

De esta forma, los resultados no están afectados por el error de micro-superficie, asimilándose a las condiciones reales.

- c) En cada sistema de riego ensayado, pie o escurrimiento y aspersión, los riegos se realizaron con control de la humedad - en el terreno, utilizando medidores eléctricos Bouyoucos, con dados de yeso colocados a las profundidades de 0,30 y 0,60 m.

Todos los riegos fueron realizados cuando el medidor indicaba que a la profundidad de 0,30 m. el contenido de humedad descendía próximo al 30% de su capacidad de retención total, es decir se aproximaba al punto de marchitez, procurando que nunca fuera este alcanzado. El dado colocado a 0,60 servía de patrón

RESUMEN

LONGITUD ALA REGADORA.....

SEPARACION ENTRE ALAS REGADORAS.....

SEPARACION ENTRE REGADORES.....

LONGITUD MAXIMA DE TUBERIA MADRE DESDE GRUPO A ARQUETA.....

^b LONGITUD MINIMA DE TUBERIA MADRE DESDE GRUPO A ARQUETA.....

NUMERO DE TENDIDOS DE ALA REGADORA.....

NUMERO MEDIO DE ASPERSORES.....

HORAS TOTALES EN DESPLAZAMIENTOS ALA REGADORA.....

HORAS MEDIAS DE RIEGO POR ALA.....

RESULTADOS

NUMERO DE RIEGOS.....

VOLUMEN POR RIEGO EN M³/Ha ó mm.....

DURACION MEDIA DEL RIEGO.....

CONSUMO DIARIO EN M³/Ha ó mm.....

HORAS EN INSTALAR GRUPO.....

HORAS EN ACOPLAR LA INSTALACION.....

HORAS EN DESPLAZAR ALA REGADORA.....

HORAS EN INSTALAR GRUPO POR Ha.....

HORAS EN ACOPLAR LA INSTALACION POR Ha.....

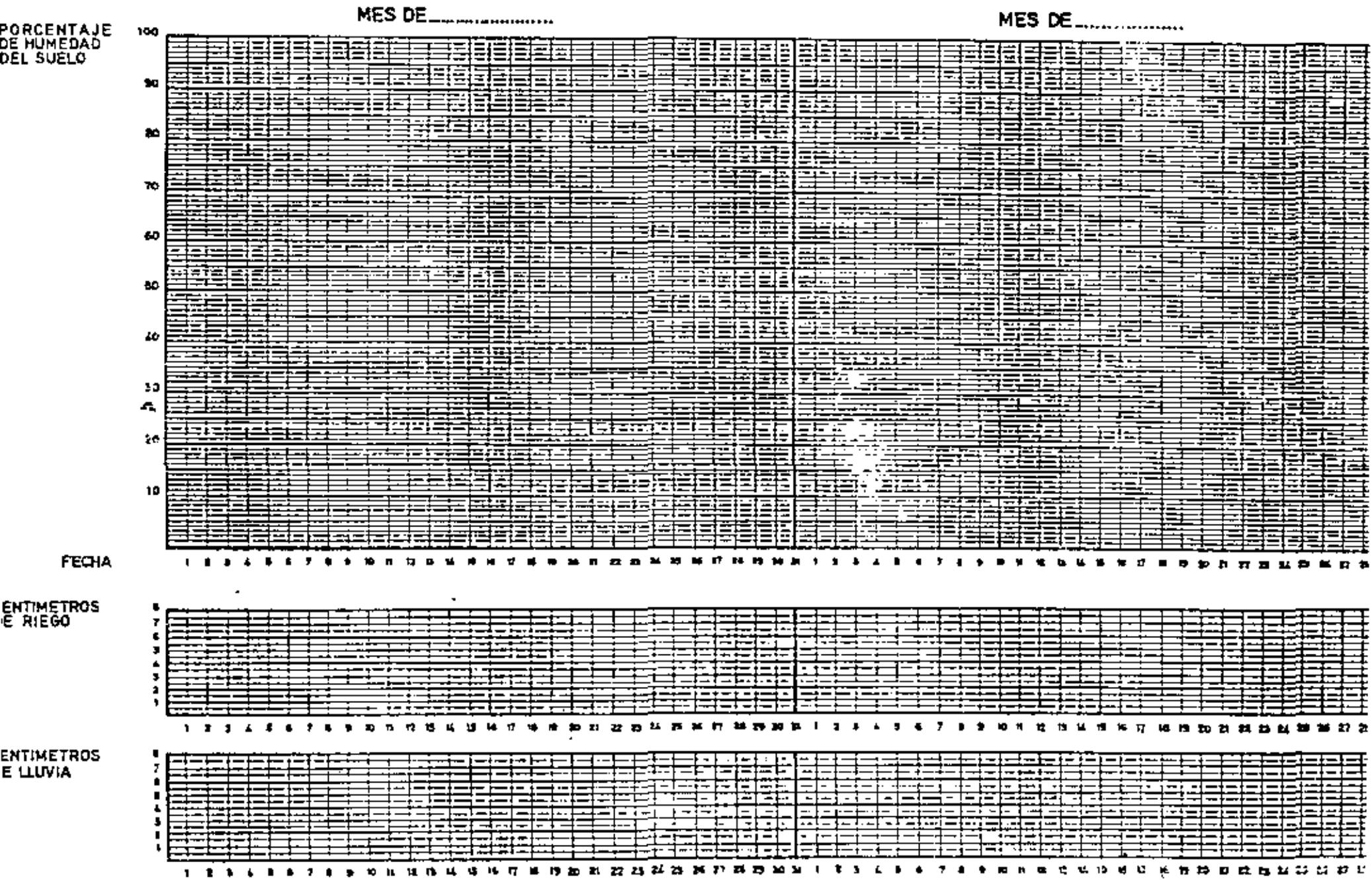
HORAS EN DESPLAZAR ALA REGADORA POR Ha.....

ZONA
 SUBZONA
 CONFEDERACION

LOCALIDAD { Tº MUNICIPAL
 PROVINCIA

CULTIVO IMPLANTADO
 TEXTURA SUELO

BLOQUES MEDIDA HUMEDAD { A mts COLOR CURVA
 A mts COLOR CURVA
 A mts COLOR CURVA



para indicar si el agua aplicada en cada riego afectaba en su infiltración a esta profundidad.

- d) Para la recopilación de los datos sobre volúmenes de agua consumidos en cada riego según sistema ensayado, así como de las variaciones de humedad en el terreno y momentos de mayor demanda en agua, se utilizaron los impresos que se dan en las figuras 3, 4 y 5.

El primero de los impresos citados sirve para recopilación de datos de riego por aspersión, incluidos los de horas precisas en desplazamientos y manipulación del equipo, aunque el estudio de estos últimos resultados y conclusiones no figure en este trabajo.

El segundo, de utilización en los ensayos de riego de pie y aspersión, para anotar las variaciones de humedad en el terreno y el volumen de agua suministrado en cada riego.

El tercero para confeccionar, con los datos del impreso anterior, las curvas de humedad para cada cultivo a lo largo de su ciclo vegetativo.

- e) Al lado de las anotaciones anteriores, se observaban diariamente incidencias o anomalías que el cultivo podía presentar; asimismo sus producciones.
- f) Se estableció como periodo de duración, para esta primera fase del programa de experiencias, el de 6 años, Periodo que permitía ocupar cada año a los cultivos ensayados parcelas distintas, tanto en riego de pie o escurrimiento como aspersión.

El programa de experiencias, que hemos expuesto muy resumido, no puede ser ampliado en su descripción, pues impediría centrarnos en el tema específico de este trabajo. Solo añadiremos que los ensayos y experiencias han sido acompañados del análisis físico del suelo y de la determinación de sus características hidrodinámicas, base de los volúmenes de riego a suministrar y de la elección del tipo de aspersor idóneo, así como de la separación entre aspersores y líneas de estos con este carácter.

Posteriormente a los ensayos y experiencias anteriores, en el año 1966, se iniciaron otras de tipo similar, exclusivamente con empleo del riego por aspersión, en el Centro Experimental de la Poveda, sito en Arganda del Rey (Madrid), del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

FIGURA 08

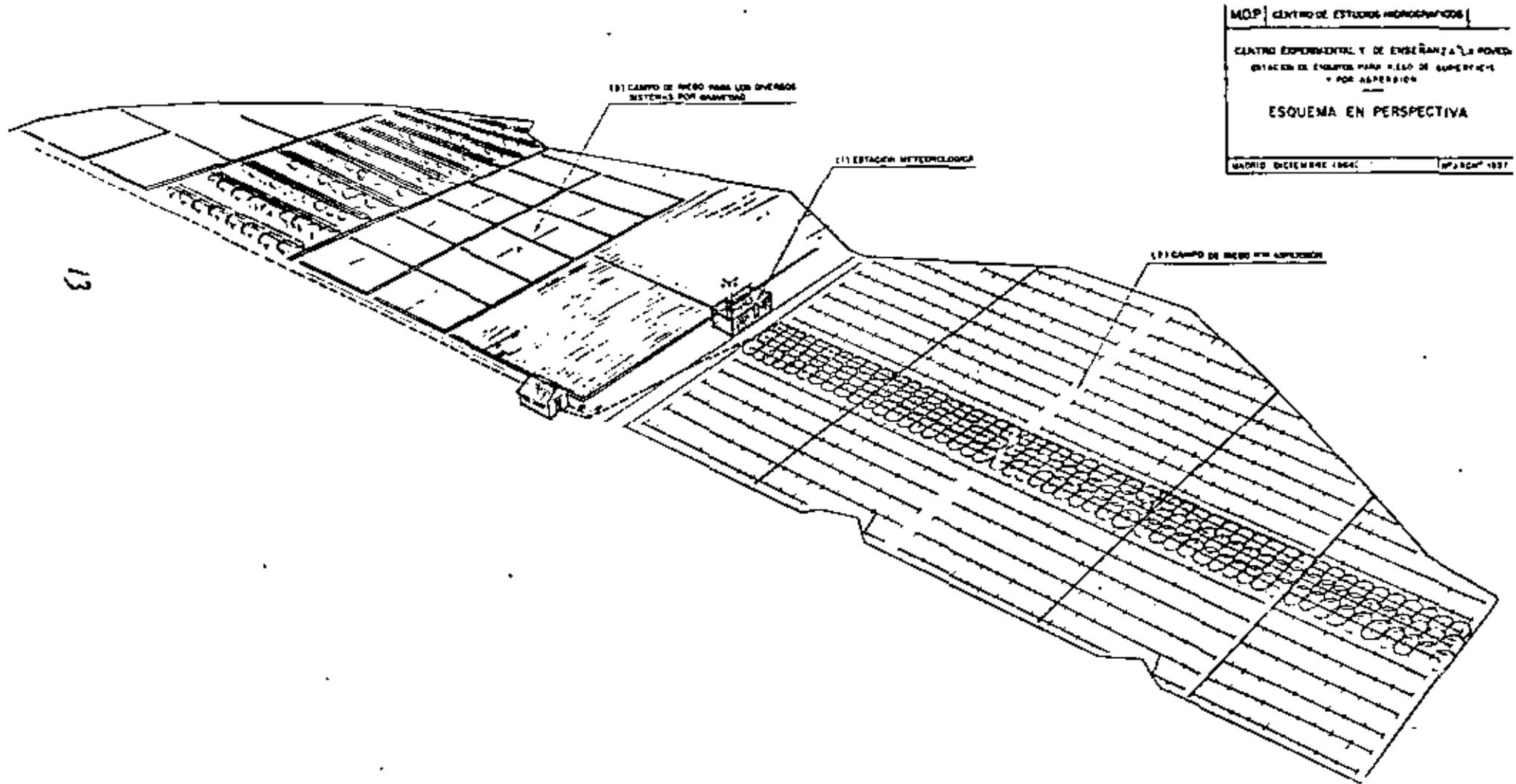
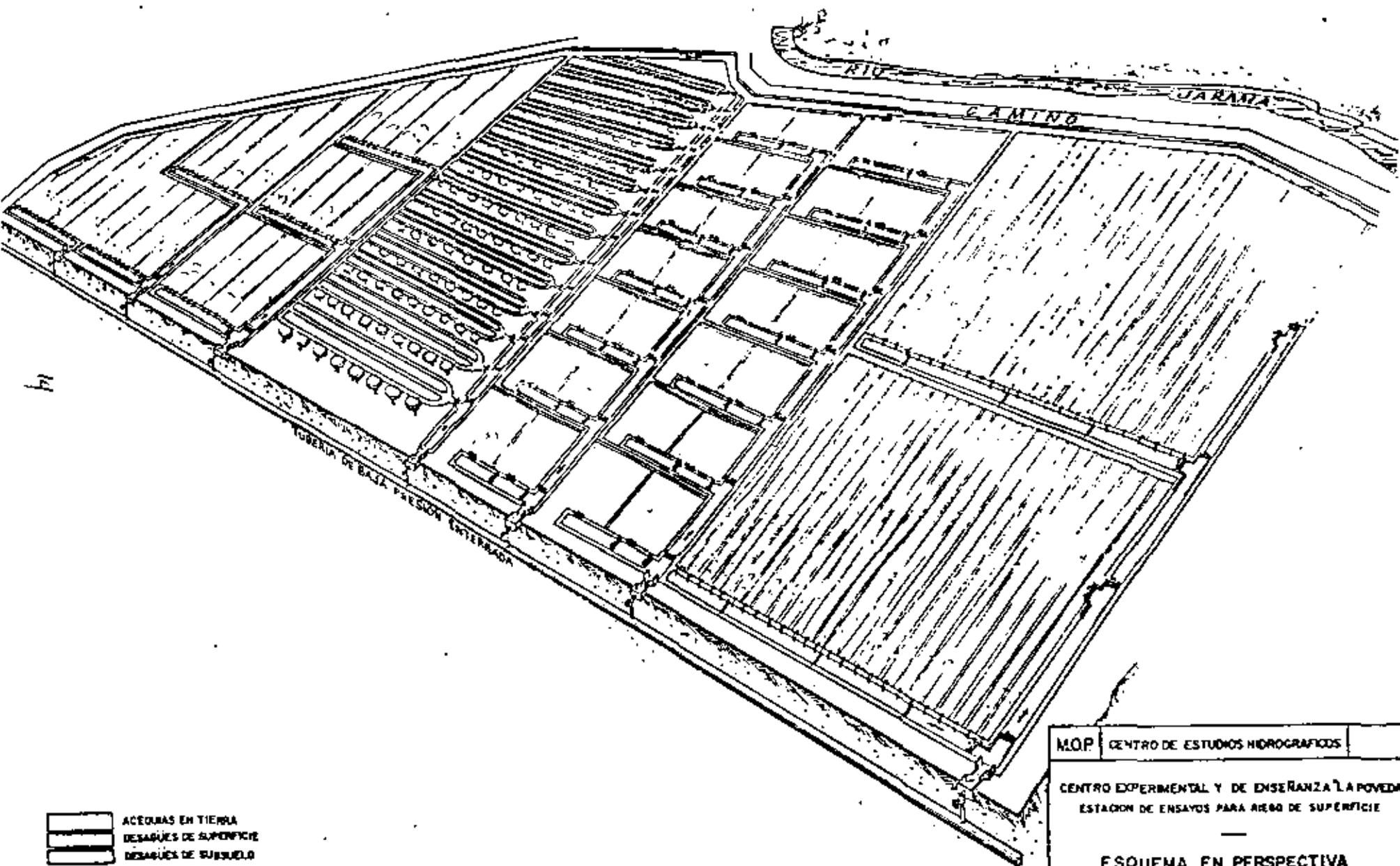


FIGURA 7*



ACEQUIAS EN TIERRA
DESAGÜES DE SUPERFICIE
DESAGÜES DE SUBSUELO

MQP CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRAFICOS

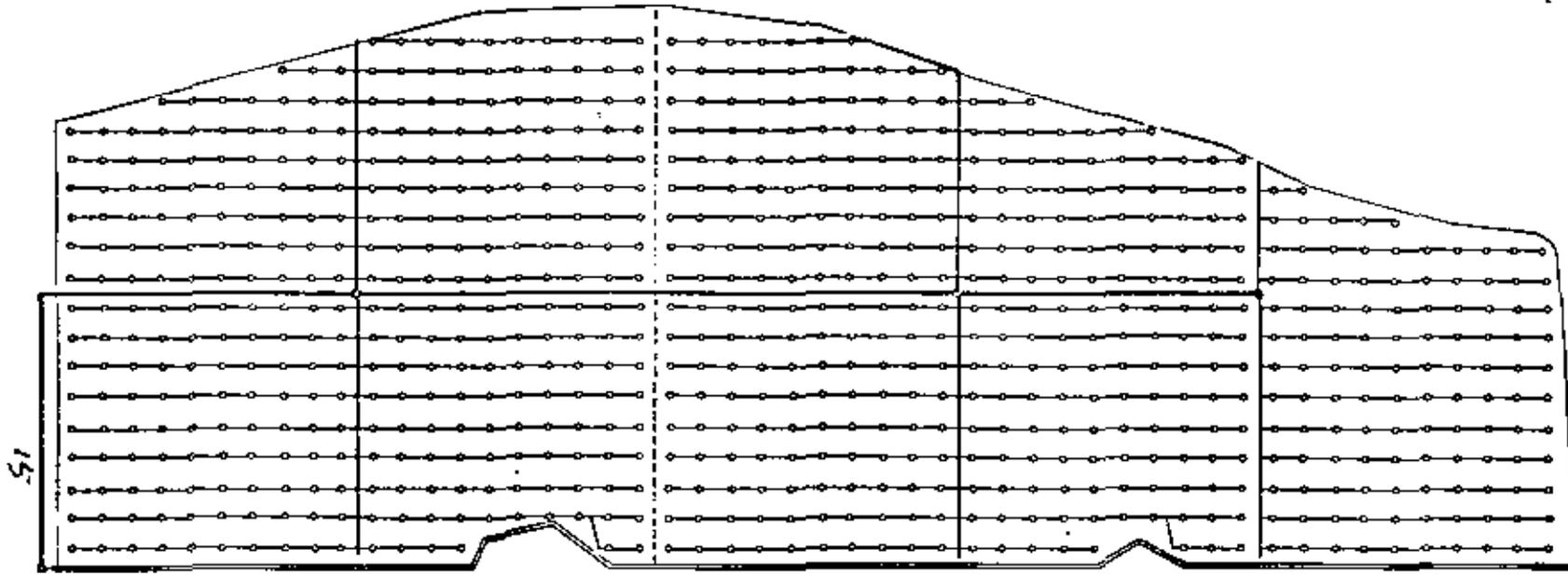
CENTRO EXPERIMENTAL Y DE ENSEÑANZA "LA POVEDA"
ESTACION DE ENSAYOS PARA AREO DE SUPERFICIE

ESQUEMA EN PERSPECTIVA

MARZO - NOVIEMBRE 1964

TPAROC 635-2

FIG. 8.



- Tuberia de conduccion principal enterrada
- " " " abastecimiento o madre móvil
- " " " regadores
- Arquetas de toma e hidrantes
- - - - - División de unidades parcelarias de riego

M.C.P.	CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRAFICOS	ESCALA
CENTRO EXPERIMENTAL Y DE ENSEÑANZA "LA POVEDA" ESTACION DE ENSAYOS PARA RIEGOS POR ASPERSION		
— POSICION A TENDIDO EN ALA LATERAL		
MADRID JUNIO 1964	1	MARCHO 1454-1

consumo efectivo de agua.

Asimismo, al haber sido cada cultivo ensayado con riego de aspersión y riego de pie, cada año, cambiando de uno a otro del periodo la parcela ocupada, el consumo obtenido con este segundo sistema de riego ha servido para determinar, por diferencia con el necesario utilizando riego por aspersión, las pérdidas por infiltración y escurrimiento. Es decir, los rendimientos en la aplicación del agua al terreno según sistema de riego y cultivo.

Se ha anotado diariamente para cada cultivo la humedad existente en el terreno a 0,30 y 0,60 m., confeccionando sus curvas de variación a lo largo del ciclo vegetativo. Con ello se tienen para cada cultivo los meses de mayor demanda en agua, o periodos críticos, en relación con el estado o periodo de su desarrollo.

Asimismo, se han podido obtener, por cultivo y sistema de riego, las variaciones del consumo de agua mensualmente y correlacionarlas con su producción.

La correlación de producción con agua consumida, se da para cada cultivo y sistema de riego en Qm. por m³. de agua consumida.

El fin de las experiencias o ensayos ha tendido a poder señalar en esta primera fase y para los cultivos observados el consumo de agua con oscilaciones de humedad en el terreno entre su capacidad de retención total, una vez realizado el riego, hasta un descenso de esta próximo al 20% ó 30% de la capacidad anterior, es decir, al contenido en marchitez. Base para iniciar experiencias en una segunda fase aumentando el punto de contenido de humedad en el terreno al realizar el riego, para correlacionarlo con su producción.

Los resultados de estas experiencias figuran en hojas y gráficos como los que se dan a continuación. Cada una de estas hojas corresponde a los datos obtenidos para un cultivo a lo largo del periodo del ensayo.

Asimismo, como complemento de los datos anteriores, figura un gráfico en el que se muestra, para cada año, la variación y volumen de los consumos mensuales calculados por las fórmulas de Thornthwaite y Blaney-Criddle, sin coeficiente corrector, y los obtenidos en la parcela experimental por el empleo del riego por aspersión, como método patron. Asimismo figura la curva de pluviometría mensual. 16

Experiencias cuyos resultados de los años 1965, 1966 y 1967 figuran asimismo en este trabajo.

En esta estación, el año en curso, 1968, se ha puesto en servicio un campo de experiencias, para distintos tipos de riego de pie o escurrimiento, lindando con el de aspersión y en el que se experimentarán, comprobando su rendimiento en la aplicación del agua e incidencias en la producción.

Damos en las figuras 6 y 7 perspectivas de esta estación en su conjunto, con detalle del campo de experiencias para riego de pie últimamente ejecutado; asimismo, en la figura 8ª, detalle de las parcelas de ensayo para riego por aspersión y los techidos de las alas regadoras.

Estas parcelas, como puede observarse en la figura 8ª, son en número de 10, permitiendo, como se expuso en los ensayos de la primera estación sita en El Encín, atenuar la influencia de la variabilidad de las condiciones físicas del terreno en los resultados. Asimismo, la programación de este ensayo ha sido para un periodo mínimo de 6 años, siendo los resultados que se dan en este trabajo provisionales y solo como avance.

A los resultados de este trabajo se unen los datos meteorológicos en las estaciones correspondientes para cada año y el cálculo de la evapotranspiración potencial por Blaney-Criddle y Thornthwaite, comparando estos resultados de consumo con los obtenidos en los ensayos de riego por aspersión y determinando los coeficientes correctores para cada mes del ciclo vegetativo de cada cultivo y en cada año.

Entramos ahora en el tema propio del trabajo con arreglo a los puntos siguientes:

ENSAYOS Y EXPERIENCIAS DEL CAMPO DE LA SECCION DE HIDRAULICA AGRICOLA SITO EN EL ENCIN, ALCALA DE HENARES (Madrid).

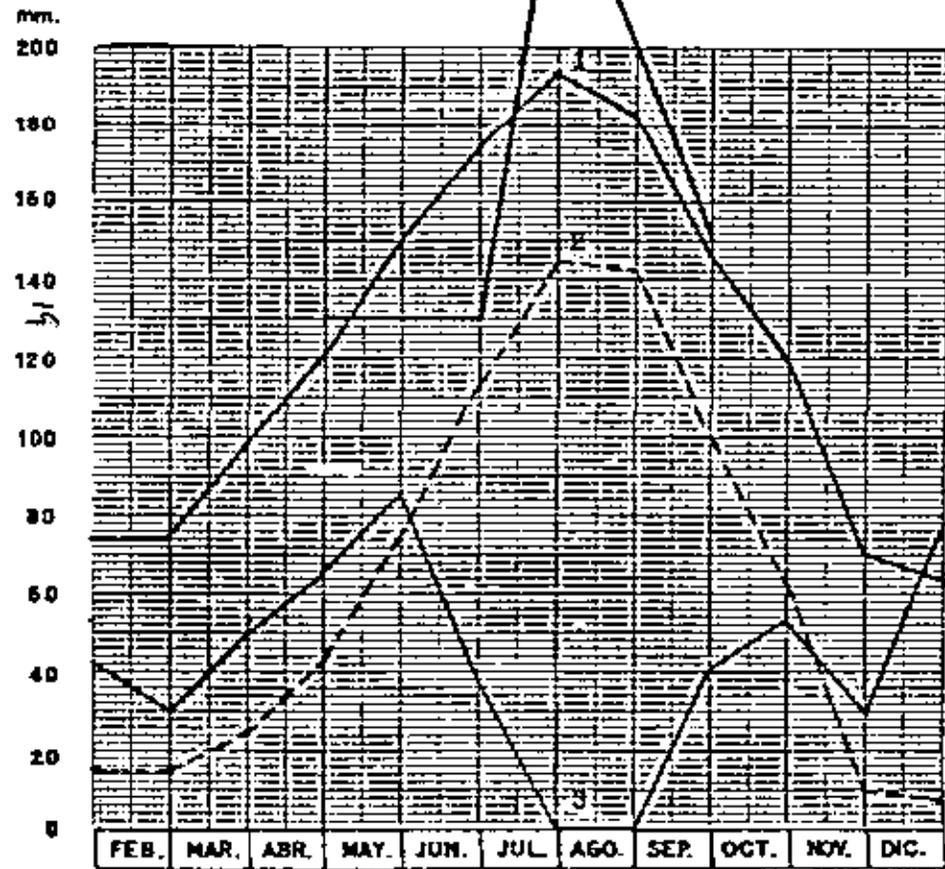
Estos ensayos corresponden al periodo de 1960 a 1968 sobre determinación del consumo efectivo de agua en los cultivos trigo, remolacha azucarera, patata tardía, habas (grano), maíz y alfalfa.

Se ha partido de la premisa, contrastada en experiencias anteriores a los ensayos y a lo largo de estos, de que el riego por aspersión proporciona un rendimiento en la aplicación del agua próximo al 85%. Por tanto, se ha tomado el riego por este sistema como patrón para determinar el -

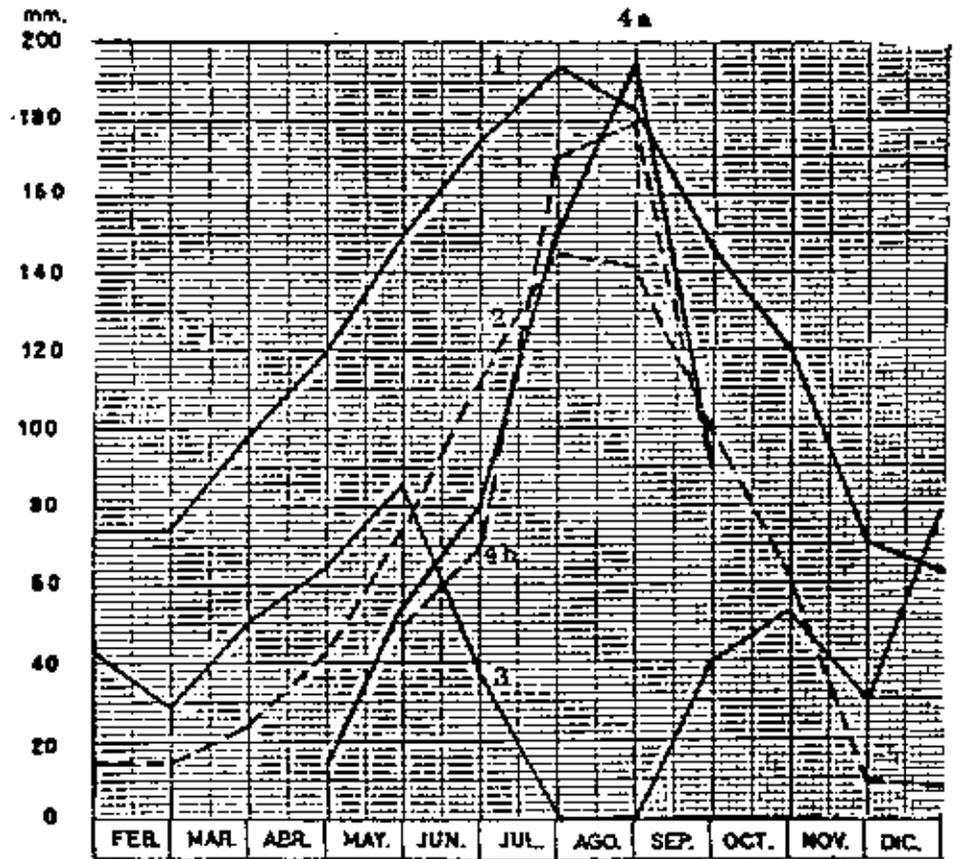
FINCA..... EL ENCIN
 CULTIVO..... ALFALFA.....
 AÑO ..1962....

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES

- 1 - Consumos teóricos Blaney-Criddle (K = 1)
- 2 - Consumos teóricos Thornthwaite
- 3 - Pluviometrías
- 4 - Consumo real de alfalfa.



RIEGO DE PIE

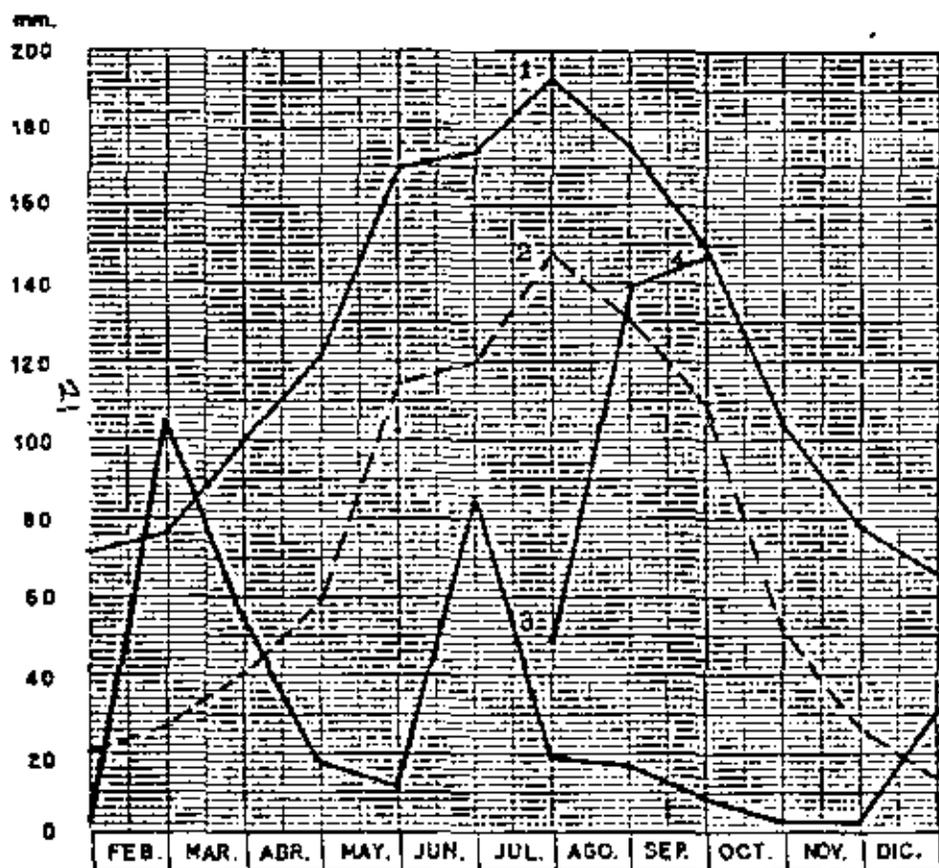


RIEGO POR ASPERSION

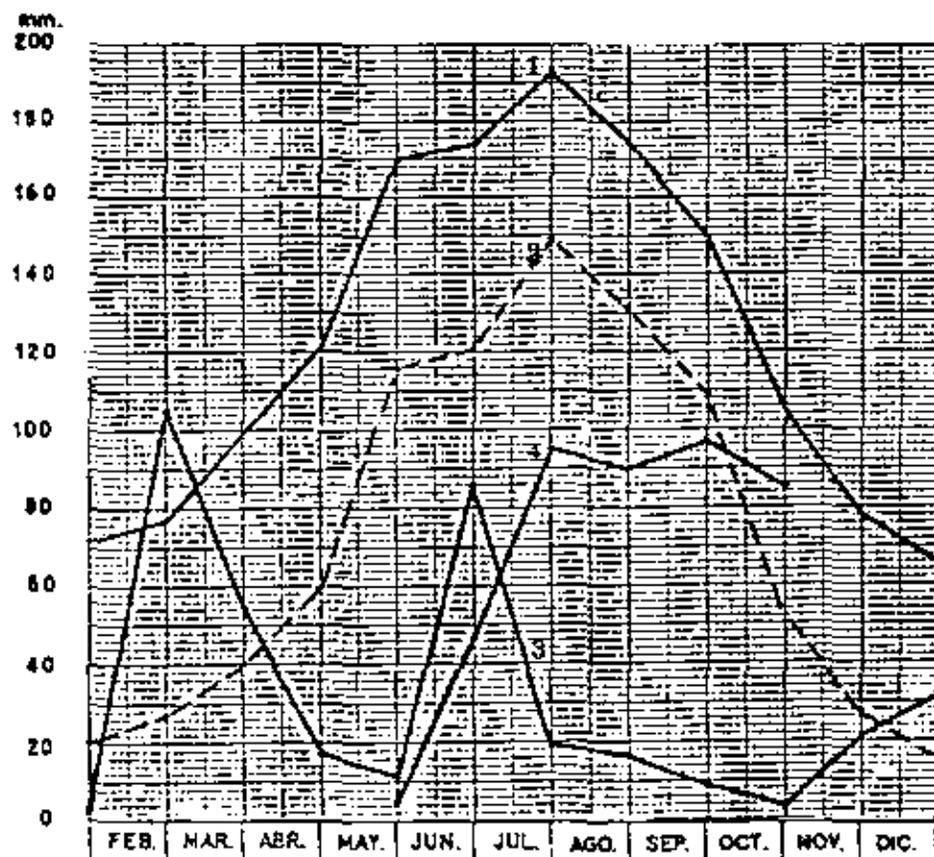
FINCA.....EL ENCIN.....
 CULTIVO.....ALFALFA 1ª. año...
 AÑO ... 1.954.

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES

- 1 - Consumos teóricos Blaney-Criddle (K = 1)
- 2 - Consumos teóricos Thorntwaite
- 3 - Pluviometría
- 4 - Consumo real de alfalfa.



RIEGO DE PIE

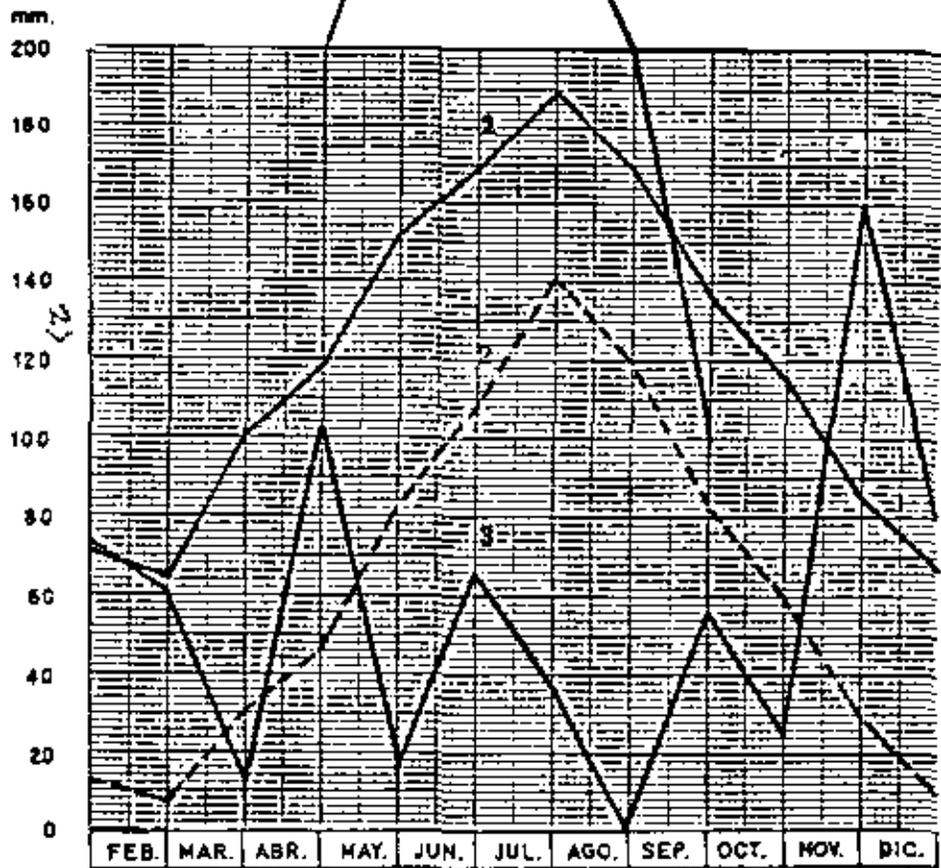


RIEGO POR ASPERSION

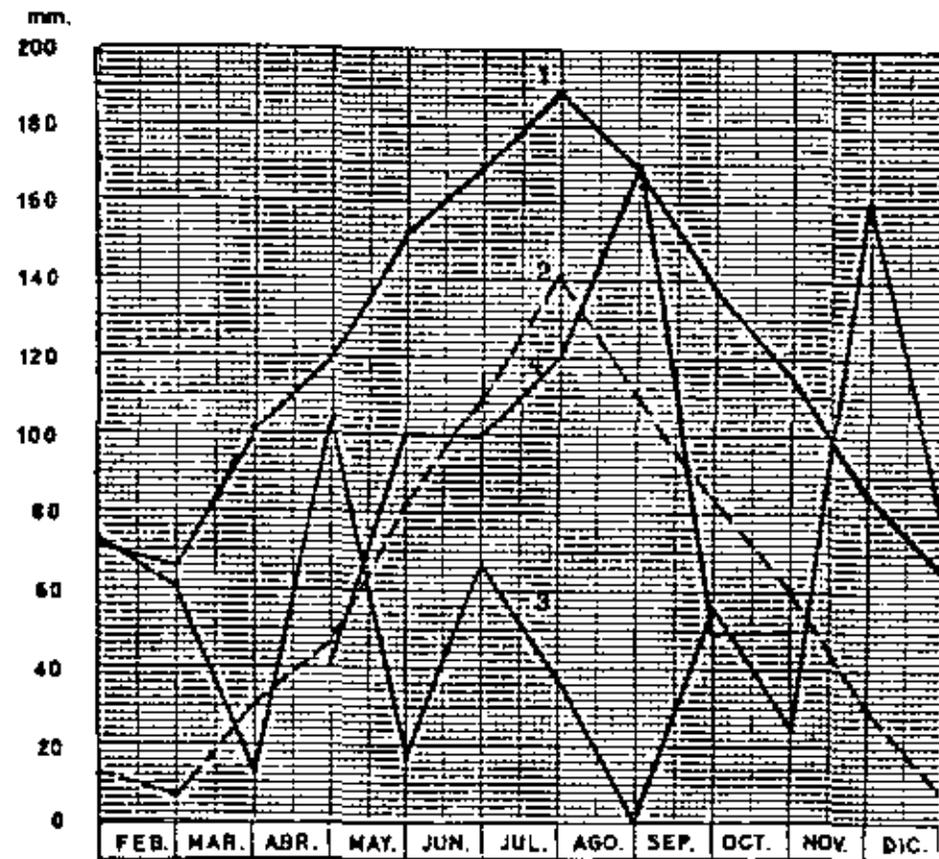
FINCA.....EL ENCIN.....
 CULTIVO.....ALFALFA. 2º. AÑO.....
 AÑO ..1.963..

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES

- 1 - Consumos teóricos Blaney-Criddle (K = 1)
- 2 - Consumos teóricos Thornthwaite
- 3 - Pluviometrías
- 4 - Consumo real de alfalfa.



RIEGO DE PIE



RIEGO POR ASPERSION

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperatura media	8,4	7,5	8,8	11,0	19,2	19,8	20,8	22,2	21,4	12,0	7,8	4,5	
Pluviómetro	2,2	105,5	55,1	28,7	11,1	85,9	16,7	17,8	2,8	2,8	84,2	30,5	306,7
Cosecha utilizando fórmula de Thierfelder	29,89	27,28	40,17	59,94	115,43	120,52	140,59	131,35	109,20	31,84	27,28	14,52	
Cosecha utilizando fórmula de Blaney-Criddle con K=1	71,54	77,42	100,26	121,15	178,13	172,78	192,44	174,67	150,38	105,49	78,82	55,72	
Cosecha utilizando sistema riego por aspersión, rendimiento 85%					581,1	785,7	975,3	897,1	897,0	789,9			6287,1
Cosechas reales con rendimiento 80%					757,38	851,69	829	754	847	654,41			4493,45
Cosechas utilizando sistema riego de pa o aspersión													
Pérdidas por infiltración y evaporación													
Rendimiento sistema riego de pa o aspersión													
Coeficiente corrector de la fórmula Thierfelder, Blaney-Criddle				0,75;0,55	0,25;0,27	0,68;0,52	0,71;0,73	0,80;0,82	1,31;0,85				
Anormalidades o incidencias vegetativas													
Más de mayor desarrollo y período de estado vegetativo													
Fórmula de cosecha utilizada													
Qm de producción por Ha obtenidas	148,89												
Qm por m ² /Ha de agua consumida	8,825												
Fecha de siembra													
Fecha de cosecha	7 veces			día 29	día 30	día 27	día 19	día 8	día 8	día 11			

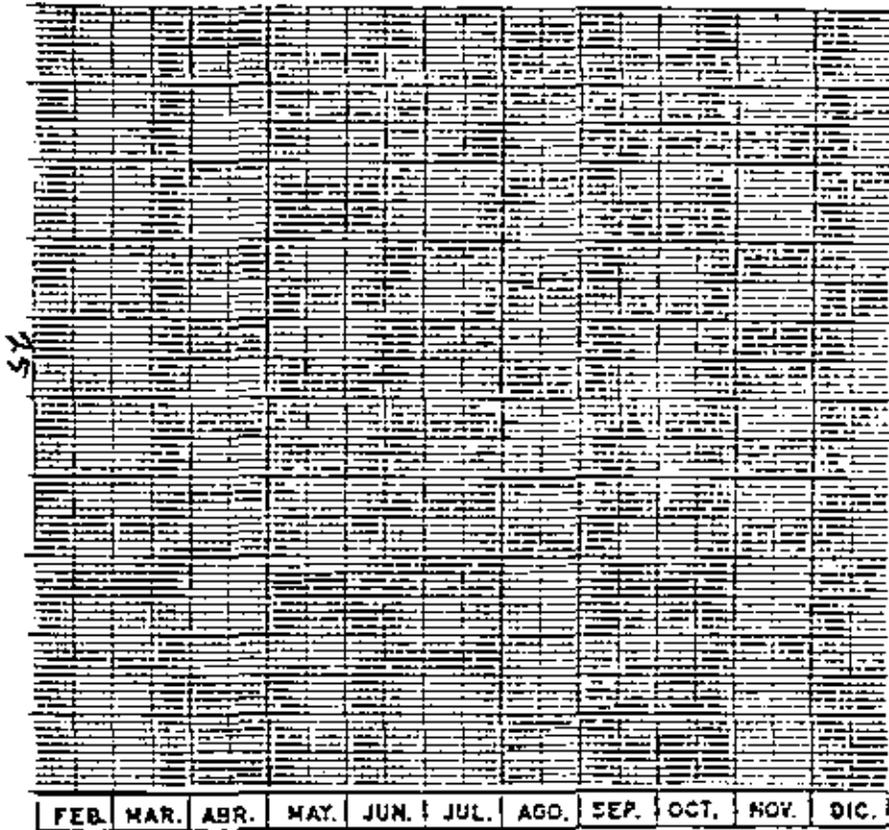
42

FINCA..... EL ENGIN.....
 CULTIVO..... ALPALPA 3ª. año.
 AÑO ..1.964..

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES

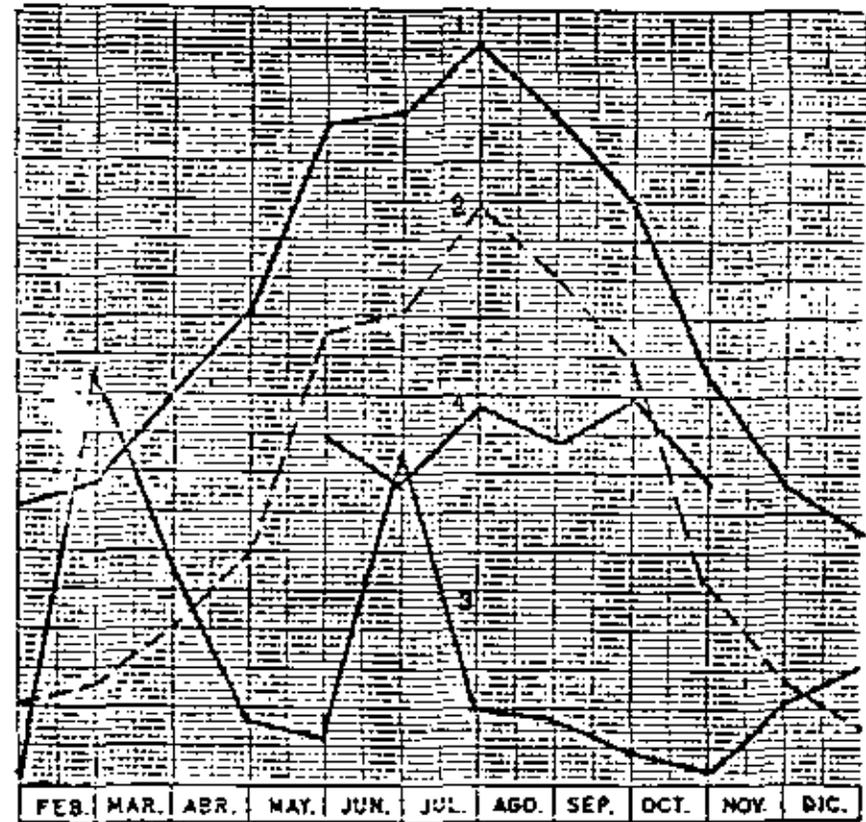
- 1 - Consumos teóricos Blaney-Criddle (K = 1)
- 2 - Consumos teóricos Thornthwaite
- 3 - Pluviometría
- 4 - Consumo real de alfalfa.

mm.



RIEGO DE PIE

mm.
200



RIEGO POR ASPERSION

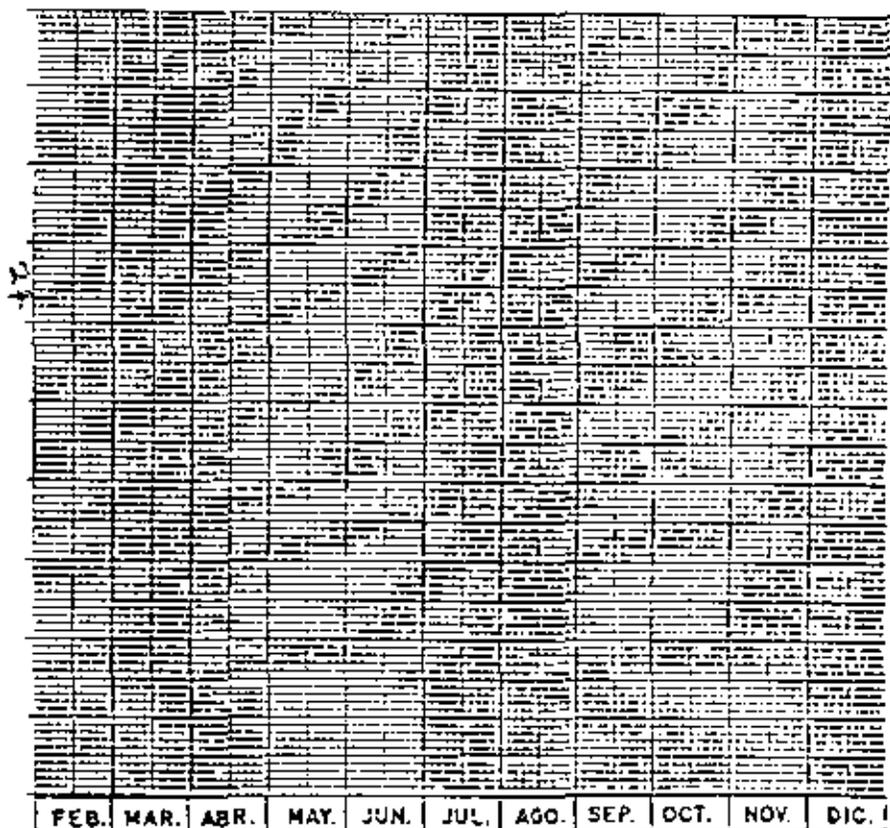
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperatura media	4,3	3,7	8,6	10,7	17,0	20,5	21,7	22,6	18,2	14,5	7,6	5,6	
Pluviómetro	44,0	53,6	53,8	8,5	17,6	6,3	3,0	14,5	51,2	81,6	100,9	54,7	487,7
Cosecha utilizando fórmula de Tharwatze	10,04	7,47	30,90	43,29	93,25	120,32	133,35	127,80	84,24	57,60	19,84	12,10	
Cosecha utilizando fórmula de Gray-Croble con K=1	68,16	65,78	100,26	116,64	159,56	177,03	185,01	176,31	158,37	114,36	77,41	69,99	
Cosechas utilizando sistema riego por aspersión, rendimiento 85 %				414,9	844,9	943,1	1390,0	1183,9	868,0				5644,8
Cosechas riego con rendimiento 100 %				352,66	718,16	801,64	1181,50	1006,31	737,80				4798,07
Cosechas utilizando sistema riego de pozo o encurvadura				295,0	2261,3	2733,6	2981,3	2900,5	2499,6				13631,3
Pérdidas por infiltración y evaporación				-57,66	1543,14	1931,96	1759,80	1894,18	1721,80				
Rendimiento sistema riego de pozo o encurvadura				1,19	0,32	0,29	0,13	0,35	0,43				
Coefficiente de eficiencia de la fórmula Tharwatze, Gray-Croble				0,01;0,37	0,96;0,36	0,72;0,45	0,91;0,15	0,90;0,61	1,08;0,90				
Anotaciones o tendencias vegetativas													
Nota de estado de campo y partes o cobijas vegetativas													
Fórmula de cosecha utilizada													
Un. de producción por Ha cosechada	187,49	esperado											
	155,02	plu											
Un. por m ² /ha de agua consumida	0,03	esperado											
	0,01	plu											
Fecha de siembra	25	mayo	esperado										
		"	plu										
Fecha de cosecha	6	series,	plu		1 y 31	30	27	23		6		esperado	
					7	1 y 30	28	24		2-6		plu	

FINCA LA POVEDA
 CULTIVO ALPALFA
 AÑO 1.965

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES

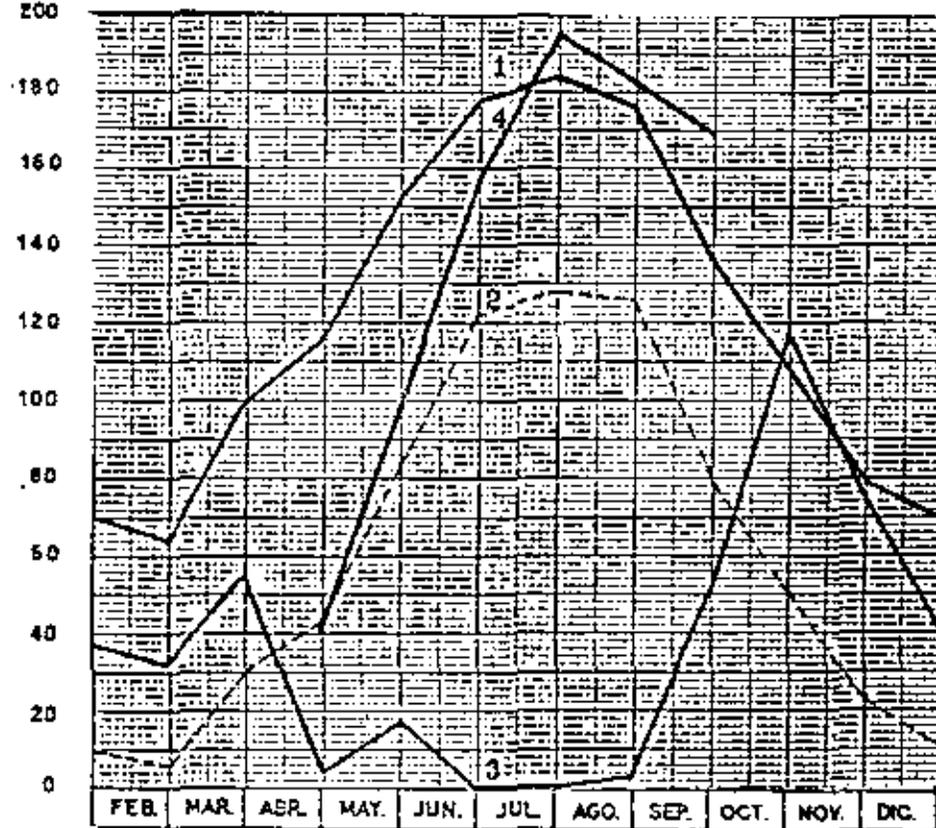
- 1 - Consumos teóricos Blaney-Criddle (K = 1)
- 2 - Consumos teóricos Thornthwaite
- 3 - Pluviometrías
- 4 - Consumo real alfalfa.

mm.



RIEGO DE PIE

mm.
200

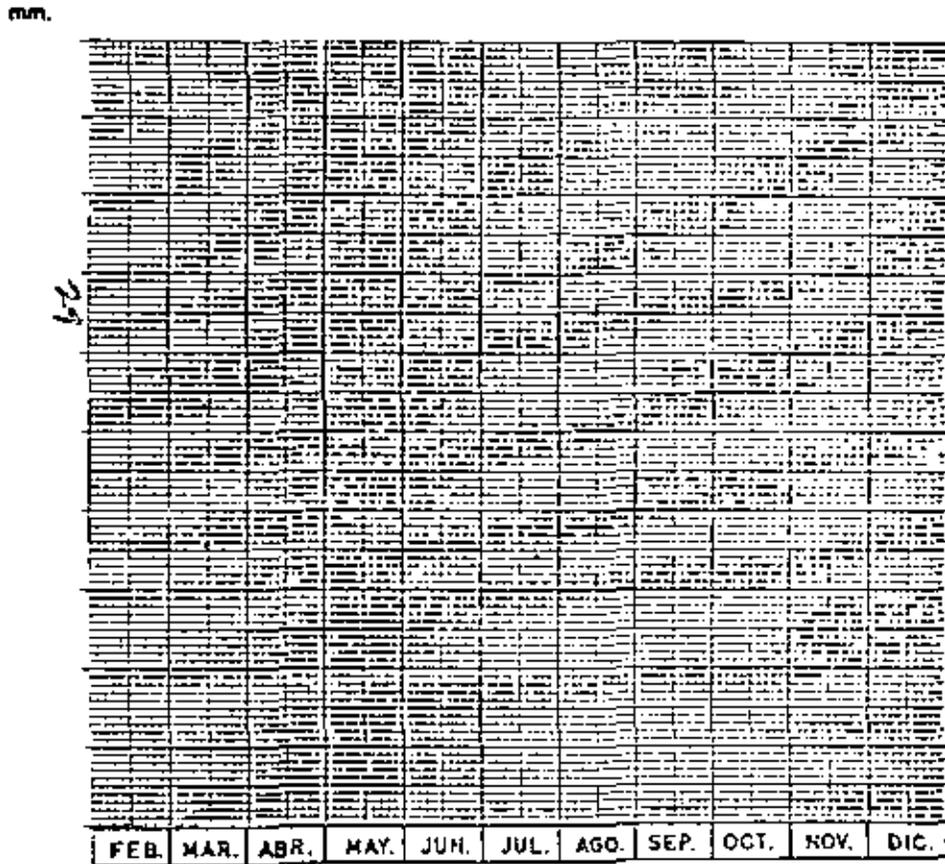


RIEGO POR ASPERSION

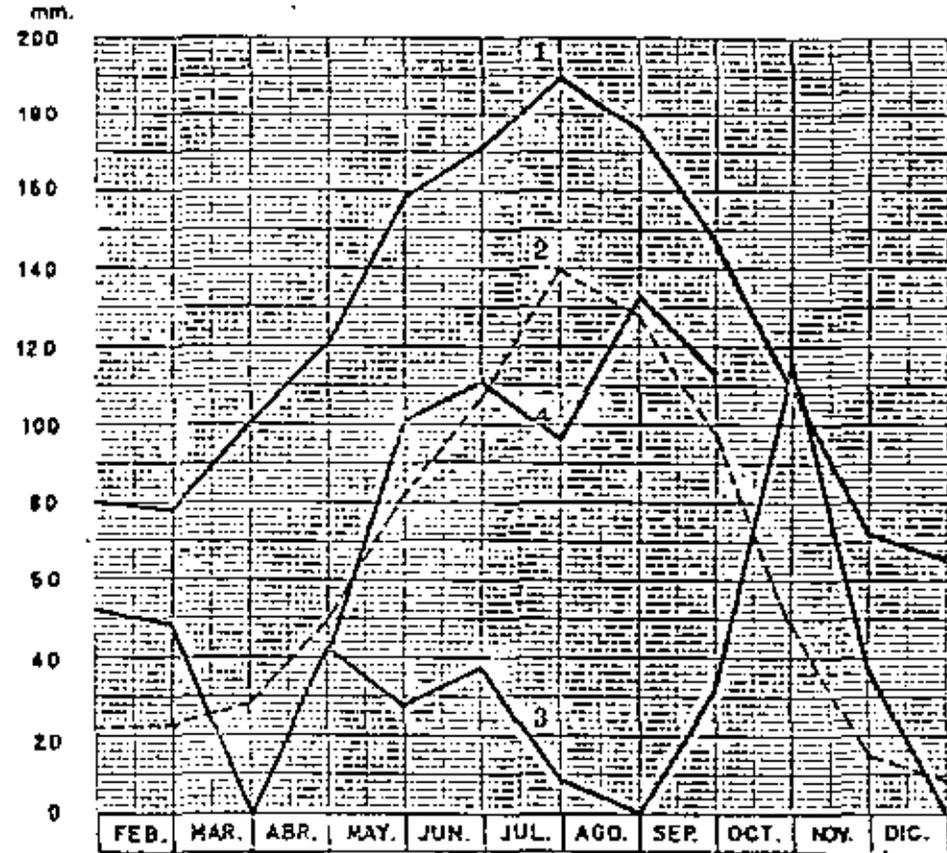
FINCA..... LA POVEDA.....
 CULTIVO..... ALFALFA.....
 AÑO ...1.966.

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES

- 1 - Consumos teóricos Blaney-Criddle (K = 1)
- 2 - Consumos teóricos Thornthwaite
- 3 - Pluviometrías
- 4 - Consumo real alfalfa.



RIEGO DE PIE



RIEGO POR ASPERSION

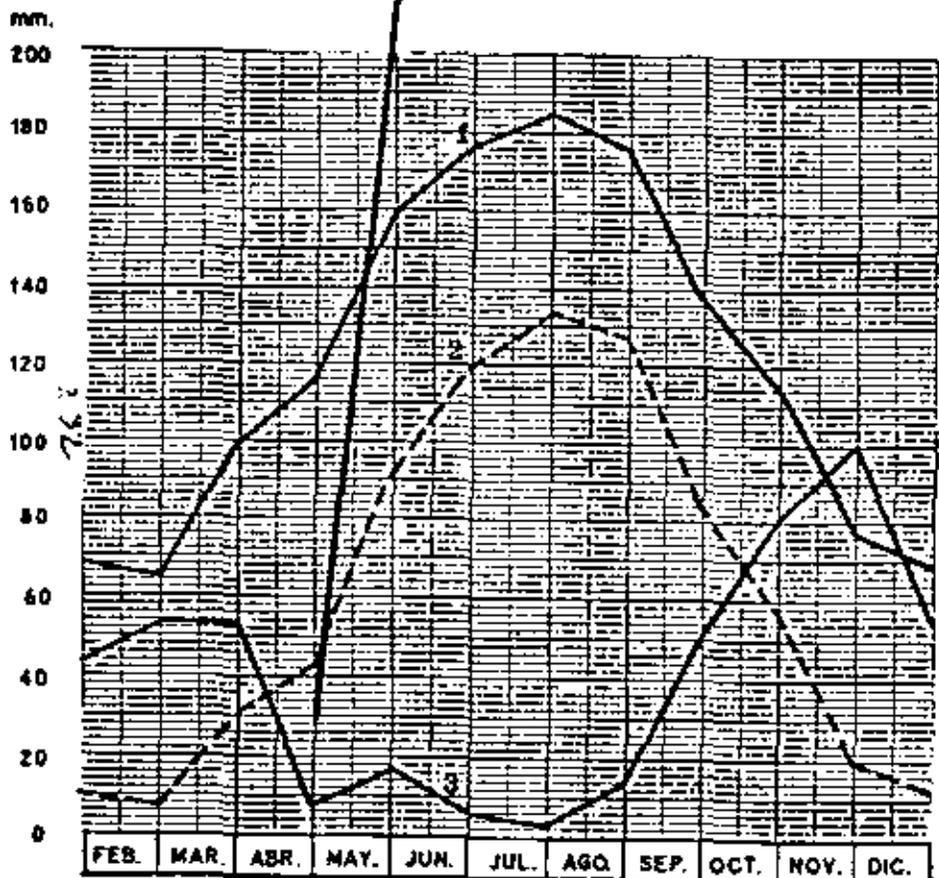
Como complemento de los datos experimentales obtenidos en el -
Campo de prácticas de El Encín (Alcalá de Henares, Madrid), enclavado en -
la Cuenca Hidrográfica del Río Henares, de la Sección de Hidráulica del --
Instituto de Investigaciones Agronómicas, damos las experiencias que, con
líneas similares de trabajo y fines, han sido realizadas en el Campo de -
Prácticas del Consejo Superior de Investigaciones Científicas sito en LA -
Poveda (Arganda del Rey, Madrid), en la Cuenca Hidrográfica del Río Jarama.

Estas experiencias, que cubren un periodo de tres años, se dan
como avance y han sido realizadas utilizando como método exclusivo de rie-
go el de aspersión, como se ha indicado anteriormente en este trabajo.

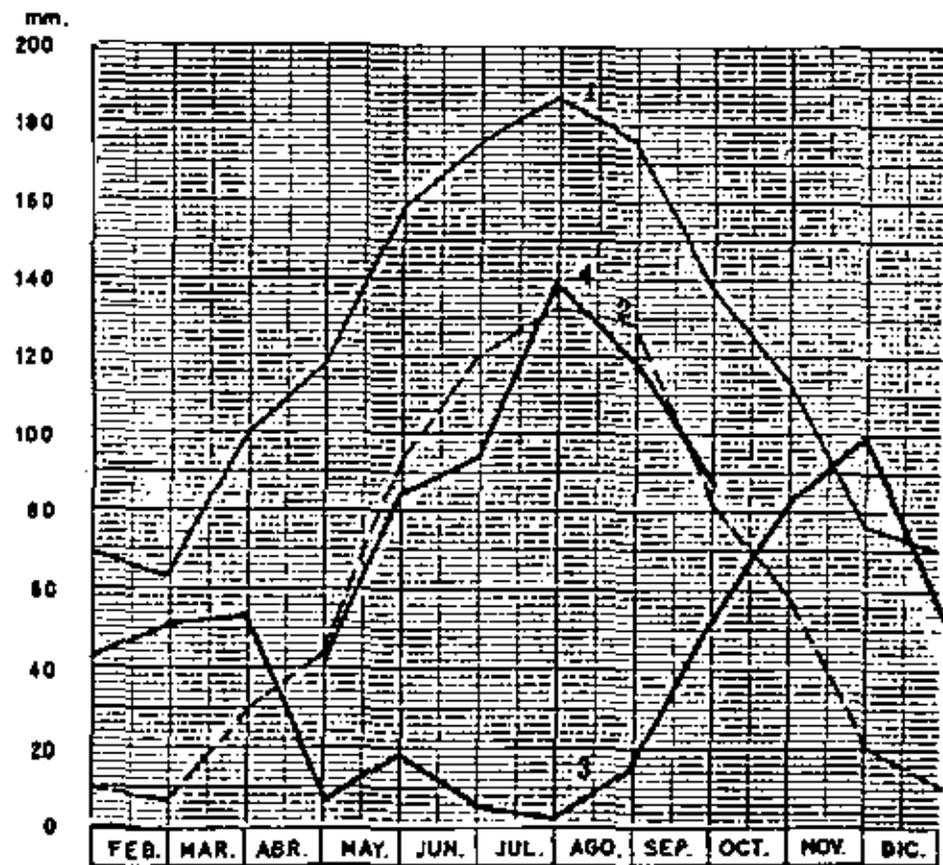
FINCA.....EL ENCIN.....
 CULTIVO.....ALFALFA.....
 AÑO...1,965.

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y-REALES

- 1 - Consumos teóricos Blaney-Criddle ($K = 1$)
- 2 - Consumos teóricos Thornthwaite
- 3 - Pluviometría
- 4 - Consumo real de alfalfa.



RIEGO DE PIE



RIEGO POR ASPERSION

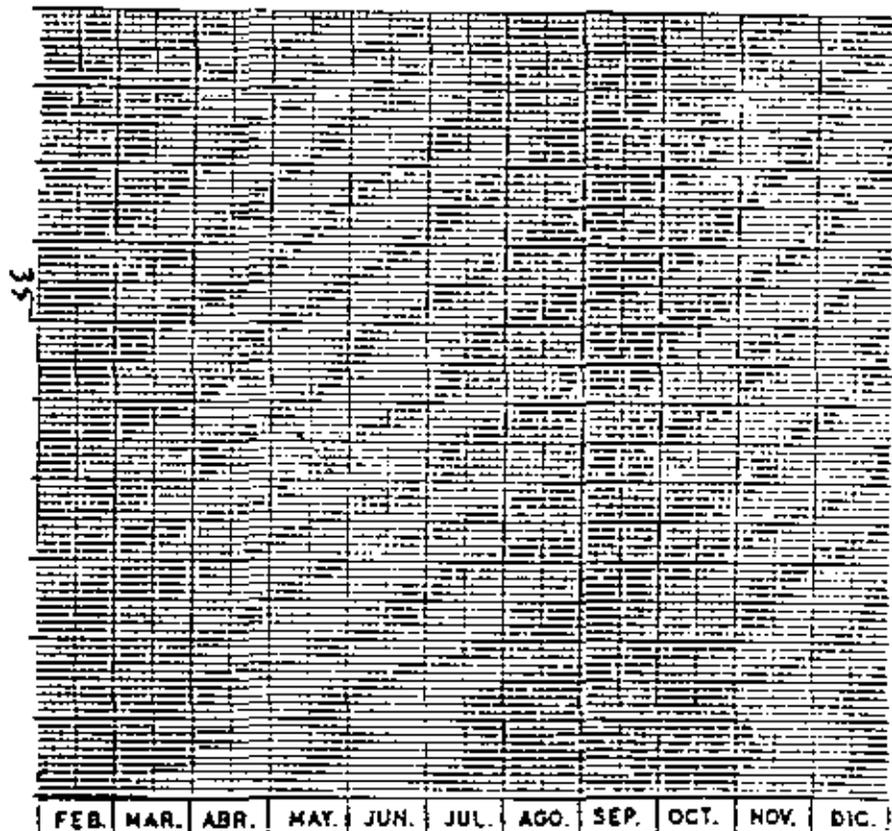
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperatura media	4,7	11,4	18,7	18,7	13,8	17,7	24,0	22,5	18,0	12,5	8,0	3,1	
Precipitación	30,8	8,0	19,2	56,8	35,0	17,4	8,6	0,5	4,1	22,0	42,8	2,4	232,00
Consumos utilizando fórmula de Thornthwaite	10,08	24,86	40,17	43,29	66,96	87,60	148,88	127,44	87,36	80,48	24,9	4,86	
Consumos utilizando fórmula de Blaney-Crispie con H ₀	59,87	69,38	100,24	116,64	143,12	173,64	198,78	175,36	140,37	117,89	81,71	43,48	
Consumos utilizando sistema riego por aspersión, rendimiento 85%			38,2	147,0	647,3	1112,6	1863,6	1667,0	2677,9				7.264,6
Consumos reales por riego 100%			32,2	124,8	550,80	945,7	1513,5	1418,9	1768,2				
Consumos utilizando sistema riego de pozo o escorrentía													
Pérdidas por infiltración y escorrentía													
Rendimiento sistema riego de pozo o escorrentía													
Captación superior de la fórmula Thornthwaite, Blaney-Crispie			0,58;0,20	58,05	1,34;0,85	1,13;0,84	0,46;0,72	1,11;0,81	2,07;2,88				
Aproximados a condiciones vegetativas													
Módulo de mayor demanda y garantía a cultivo vegetativo													
Fórmula de abstracción utilizada	Super. 480, Amonites 300, Cloruro Potásico 50												
Unidad de producción por Ha abonada	60,20												
Dca por m ² /Ha de agua consumida	0,6000												
Fecha de sembrado	14 Marzo												
Fecha de cosecha	6 Correo												

FINCA..... EL ENCIN.....
 CULTIVO..... ALFALFA.....
 AÑO ..1.966..

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES

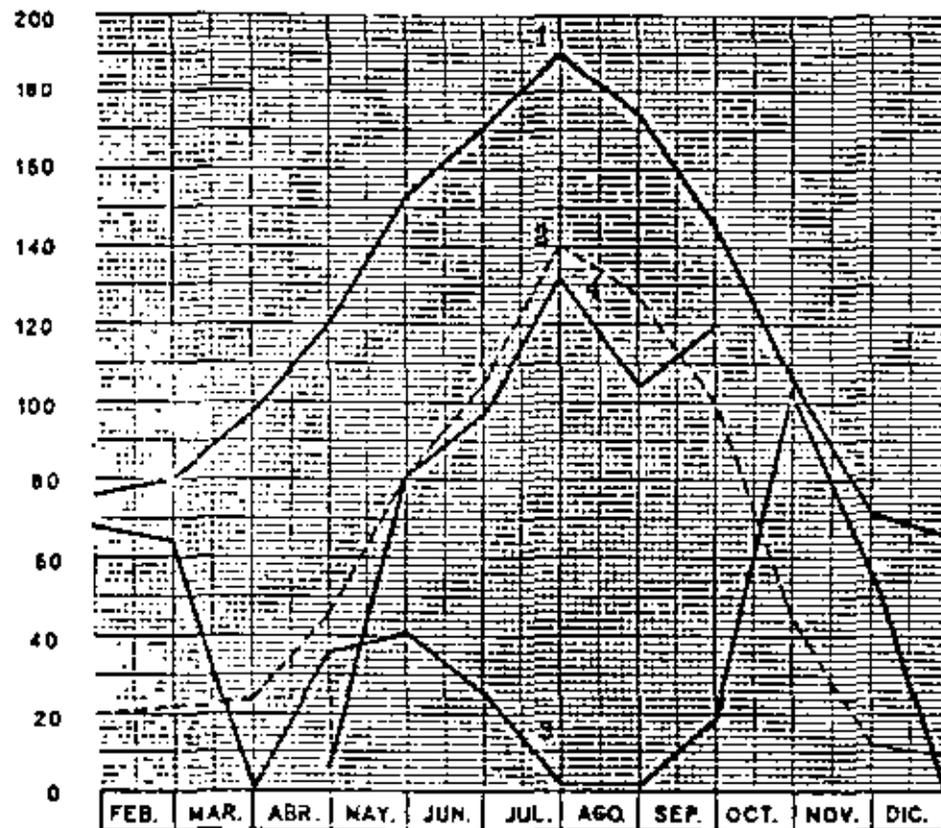
- 1 - Consumos teóricos Blaney-Criddle ($k = 1$)
- 2 - Consumos teóricos Thornthwaite
- 3 - Pluviometría
- 4 - Consumo real de alfalfa.

mm.



RIEGO DE PIE

mm.



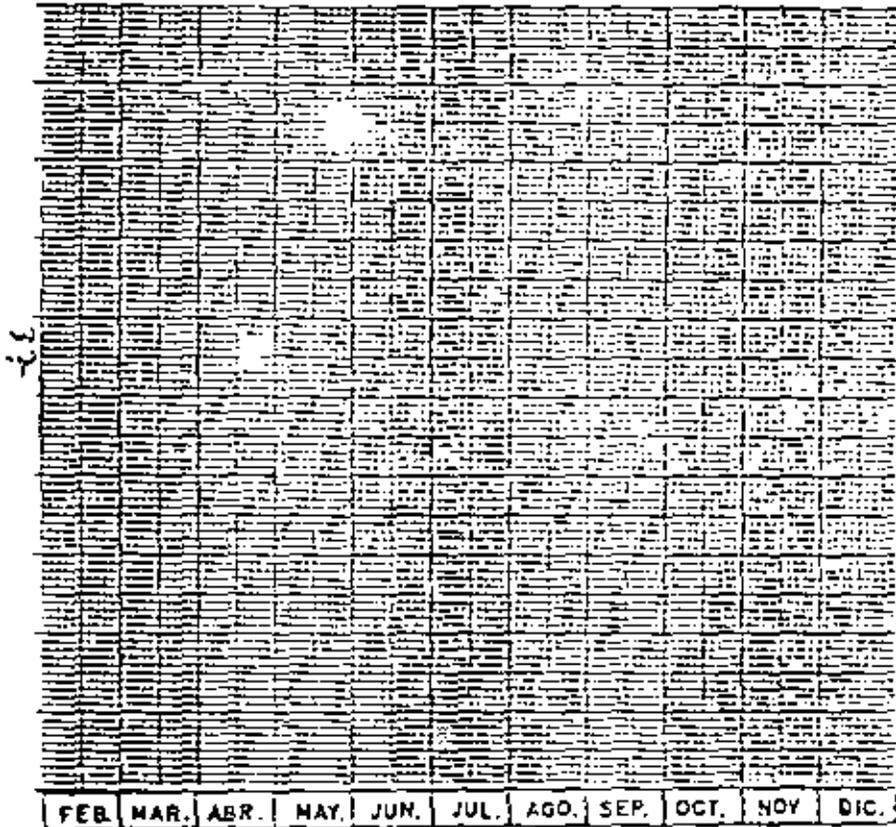
RIEGO POR ASPERSION

FINCA.....LA POVEDA.....
 CULTIVO...ALFALFA.....
 AÑO 1.967.....

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES

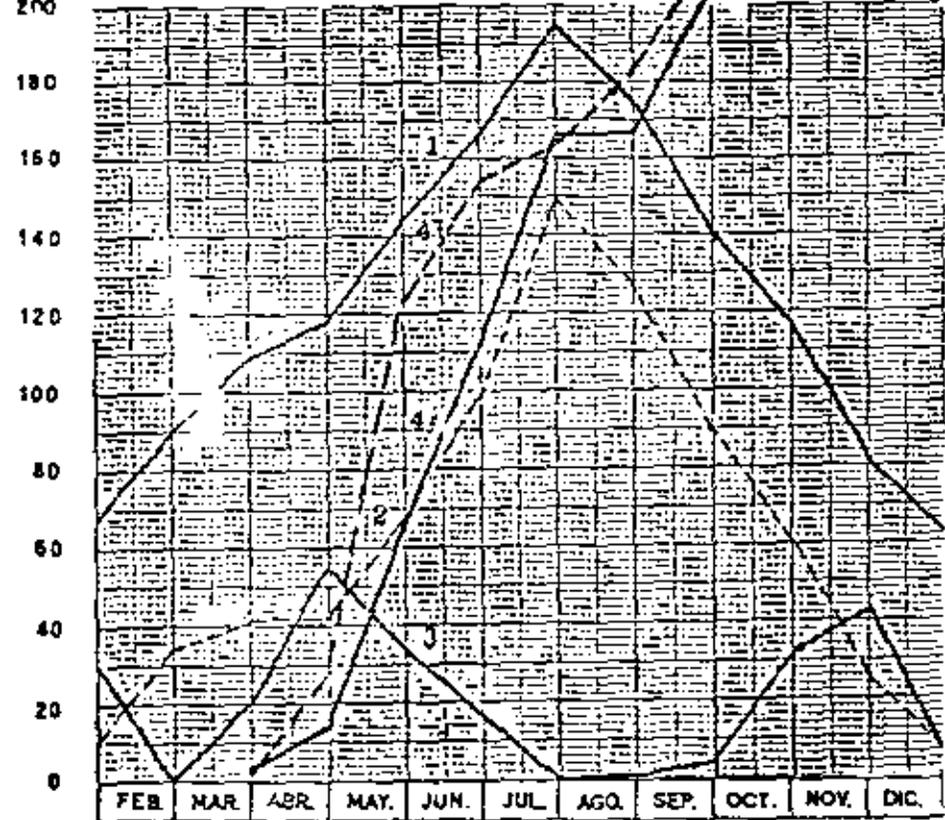
- 1 - Consumos teóricos Blaney-Criddle ($K = 1$)
- 2 - Consumos teóricos Thornthwaite
- 3 - Pluviometrías
- 4a- Consumo real alfalfa 1º año
- 4b- Consumo real alfalfa 3º año

mm.



RIEGO DE PIE

mm.



RIEGO POR ASPERSION

CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

EN ESTAS EXPERIENCIAS

Sólo figuran en este trabajo, con detalle, las experiencias realizadas en alfalfa, tanto las que se han llevado en el Centro Experimental, sito en El Encín, Alcalá de Henares (Madrid), como en el Centro Experimental de La Poveda, sito en Arganda del Rey (Madrid), emplazados en las cuencas de los ríos Henares y Jarama, respectivamente.

De estas experiencias, podemos observar que, para cada año del ensayo, figuran los datos siguientes: temperaturas medias, pluviometrías, consumos, o necesidades en agua, necesarios utilizando la fórmula de Thornthwaite, consumos utilizando la fórmula de Blaney-Criddle con coeficiente $K = 1$, consumos obtenidos utilizando riego por aspersión con rendimiento del 85% en su aplicación, consumos reales en riego por aspersión con rendimiento del 100%, consumos de agua utilizando el sistema de pie o escurrimiento, pérdidas por infiltración y esorrentía (diferencia de los dos consumos últimos anteriores), coeficientes correctores de las fórmulas de Thornthwaite y Blaney-Criddle (obtenidos por el cociente entre la suma de los consumos con riego por aspersión y rendimiento del 100% más la pluviometría y los obtenidos utilizando estas dos fórmulas), anomalías o incidencias vegetativas, cuando estas se han producido, mes de mayor demanda y período o estado vegetativo, fórmula de abonado utilizada, Qm. de producción por Ha obtenidos con riego de aspersión y riego de pie o escurrimiento, Qm. por m³ de agua utilizado (dividiendo la producción obtenida aplicando cada sistema de riego por los consumos totales de agua realmente utilizados) fecha de siembra y fecha de recolección.

Asimismo, acompañando a este cuadro del ensayo, van dos gráficos (comprendiendo cada uno cuatro curvas): uno para riego por aspersión y otro para riego de pie. Las curvas mencionadas se refieren: la N^o 1, a las necesidades de agua mensuales obtenidas por el empleo de la fórmula de Blaney-Criddle, la N^o 2, a las obtenidas por el empleo de la fórmula de Thornthwaite, la N^o 3, a las pluviometrías y la N^o 4, a los consumos reales con el riego.

No figuran en este trabajo los cuadros y gráficos para cada cultivo ensayado, por no hacerlo excesivamente voluminoso. Por ello, y a título informativo de la mecánica seguida en la recopilación de datos, se dan solo los correspondientes al cultivo de alfalfa.

Ahora bien, en sustitución de la ausencia anterior, se da el cuadro resumen que figura a continuación, base de las conclusiones de este trabajo, en el que figuran, para cada cultivo, los datos siguientes (promedios del período de años de las experiencias):

- Consumo medio anual en mm., para riego de pie y aspersión.
- Consumo medio en mm. durante el mes del ciclo vegetativo con mayor demanda, para riego de pie y aspersión.
- Qm. de producción por cada m³ de agua consumida.
- Coeficientes correctores medios en el mes de mayor demanda para las fórmulas de Thornthwaite y Blaney-Criddle.

Los datos corresponden a los ensayos realizados en los dos Centros Experimentales El Encín y La Poveda. De su examen, damos las conclusiones siguientes:

a) Las fórmulas existentes para la determinación de la evapotranspiración potencial basadas en datos climáticos no pueden ser empleadas sin afectarlas previamente del factor correctivo que imponen las variaciones vegetativas propias de cada cultivo y textura del suelo.

Nos encontramos para el mes de mayor demanda que, de los ensayos realizados en El Encín, para la fórmula de Thornthwaite, este coeficiente según cultivo oscila de un mínimo de 0,50 en patatas a un máximo de 1,23 en habas, y, de los ensayos de La Poveda, de un mínimo de 0,64 en patatas a un máximo de 1,58 en avena.

Los resultados anteriores utilizando la fórmula de Blaney-Criddle oscilan, para los ensayos de El Encín, de un mínimo de 0,38 en patatas a un máximo de 0,68 en remolacha azucarera; para los de La Poveda, estos valores oscilan de un mínimo de 0,47 en patatas a un máximo de 0,83 en remolacha azucarera.

ESTADOS RESUMEN

A)-ENSAYOS EN EL UCHIR (Datos medios)

CULTIVO	PERIODO DE AÑOS DEL ENSAYO	CONSUMO ANUAL EN mm.		CONSUMO MES MAYOR DEMANDA mm.		Qm. POR m ² DE AGUA CONSUMIDA.		COEFICIENTE MES FUERA	
		RIEGO EN FIE	RIEGO POR ASPERSION	FIE	ASPERSION	FIE	ASPERSION	YUGO.	ELA.
Maja	1960-1966	812,30	282,58	168,78	121,84	0,014	0,017	0,82	0,61
Somolacha	1960-1966	847,05	484,96	228,34	140,83	0,032	0,061	0,82	0,65
Papas	1960-1966	317,17	212,47	104,24	74,80	0,06	0,07	0,80	0,38
Maba	1960-1966	254,93	128,23	160,15	90,80	0,01	0,017	1,23	0,68
Trigo	1960-1966	294,87	140,60	168,80	81,28	0,013	0,018	0,80	0,48
Alfalfa	1962-1966	1.221,83	564,64	230,00	143,16	0,018	0,023	0,91	0,67
B)-ENSAYOS EN LA PUVEDA (Datos medios)									
Avena	1967		83,28		43,22		0,022	1,58	0,74
Maja	1965-1967		484,97		180,83		0,008	1,07	0,78
Cebada	1965-1967		78,60		35,50		0,10	1,48	0,38
Somolacha	1965-1967		637,83		184,23		0,03	1,13	0,63
Papas	1965-1967		374,38		97,83		0,04	0,84	0,47
Trigo	1965-1967		81,84		61,24		0,04	1,08	0,71
Alfalfa	1965-1967		789,88		188,43		0,008	0,88	0,67

07

b) Según los valores del coeficiente corrector de las fórmulas de Thornthwaite y Blaney-Criddle obtenidos para los cultivos ensayados en los dos Centros experimentales, con características climáticas y de suelo diferentes, pueden aceptarse, en primera aproximación en el cálculo de las necesidades hídricas, los coeficientes aludidos constantes para las diversas zonas. Con ello variarán los consumos acorde con el valor de los datos climáticos que intervienen en cada una de las fórmulas.

Por ejemplo, tenemos para alfalfa en El Encín, según el cuadro, un coeficiente corrector para la fórmula de Thornthwaite 0,91 y para la de Blaney-Criddle 0,67 y en La Poveda 0,95 y 0,67 respectivamente. Sin embargo, los consumos de agua anuales son 5.646,4 m³/Ha. para El Encín, con riego por aspersión y rendimiento del 85%, y 7.599 m³/Ha. para La Poveda, con el mismo sistema de riego y rendimiento.

c) No puede olvidarse, como factor fundamental en el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, el sistema de riego a emplear, ya que la variación de los rendimientos en la aplicación del agua al terreno es muy acusada.

Según los datos del cuadro, nos encontramos para los ensayos de El Encín un consumo anual para maíz con riego de pie de 5.123 m³/Ha, frente a 3.825,8 m³/Ha. utilizando riego por aspersión. Asimismo, en alfalfa, 12.210,3 m³/Ha. utilizando riego de pie, frente a 5.646,4 m³/Ha. utilizando aspersión.

d) Los ensayos que figuran en el cuadro, realizados en los Centros Experimentales de El Encín y La Poveda, se han basado en dar los riegos, o reponer el agua cedida por el terreno al cultivo, cuando la humedad en éste descendía al porcentaje próximo a la marchitez.

Nos encontramos que, midiendo la humedad en el terreno para que no descendiera nunca del porcentaje anterior, se han obtenido Qm. por m³ de agua consumida por cada cultivo muy similares y siempre favorables para el riego por aspersión.

Con ello, nos encontramos que el sistema de riego por aspersión presenta frente al riego de pie un ahorro de agua anual que oscila de un mínimo del 25% en maíz a un máximo del 53% en alfalfa; con incrementos en Qm. por m³ de agua empleada desde un 21% en maíz a un 92% en alfalfa.

Las conclusiones expuestas conducen a proponer el siguiente programa de experiencias, que en las Estaciones experimentales aludidas en este trabajo se vienen iniciando el presente año:

1) - Señalar en las regiones agrícolas que se dan a continuación, delimitadas dentro del área geográfica española por su diversidad cultural, de clima y de suelo, campos de experiencias para utilizar en ellos el riego por aspersión y contrastar los consumos o necesidades que se obtengan con los proporcionados por diversas fórmulas de evapotranspiración. Esto, para determinar los factores correctores de las fórmulas necesarias para su aplicación y contrastarlos con los obtenidos en los ensayos que figuran en este trabajo, con el fin de conocer el margen de aplicación que permite generalizarlos.

Las zonas aludidas son las del Sur de España, Cuenca de Levante, Riegos del Duero y Norte de España (Galicia).

2) - En estos Campos Experimentales, señalar para cada cultivo - tres tipos de experiencias de riego centradas en las normas siguientes:

- En las primeras, aplicar el riego cuando el contenido de humedad en el terreno se aproxima al de marchitez.

- En las segundas, cuando el contenido de humedad en el terreno se aproxima al 30% del agua útil para el cultivo que puede admitir el terreno.

- En las terceras, cuando el contenido de humedad se aproxima al 60% del agua útil para el cultivo que puede contener el terreno.

Con ello se obtendrán resultados como los siguientes:

1º) Incrementos en el consumo de agua por el cultivo en relación con el límite de humedad existente en el terreno al realizar el riego.

2º) La proporcionalidad que existe entre el contenido de humedad en el terreno al realizar el riego y su consumo anual derivado de ello en la producción.

3º) Conocer para cada cultivo el volumen de agua necesario para lograr la producción máxima y aquel que proporciona la producción más rentable.

Ensayos estos últimos que, en otra fase de experiencias, pueden ayudar a correlacionar el aumento de humedad al realizar el riego y el aumento de consumo anual, si se produce, unido a un incremento en las dosis de abonado necesarias con la producción total por unidad de superficie.

c) Continuar en los Centros de El Encín y La Poveda las experiencias que se han realizado, pero unidas a determinar, para los diversos sistemas de riego de pie o escurrimiento posible, las pérdidas por escorrentía superficial y percolación que ocasionan, Base estos resultados para co

nocer el porcentaje de agua que en los regadíos es posible recuperar cuando se realicen estudios hidrológicos de una cuenca.

No queremos dejar de mencionar la valiosa colaboración que los centros que a continuación se citan han ofrecido, ya que nos han informado sobre el estado en que se encuentran en otros lugares de España las experiencias sobre necesidades de agua de los cultivos:

- INIA, Finca Alameda del Obispo, Córdoba
- Confederaciones Hidrográficas del Guadalquivir, Sur, Guadiana y Norte.
- INC, Delegación de Valladolid
- CSIC, Cortijo del Cuarto, Sevilla

Estos datos no figuran en esta exposición para evitar su excesiva extensión. No obstante, se publicarán en la separata que, como complemento de este trabajo, recogerá el total de los datos de que disponemos.

EXPERIENCIAS COMPLEMENTARIAS A LAS EXPUESTAS EN ESTE TRABAJO:

El siguiente es uno de los puntos del tema Necesidades de agua - en los Cultivos que se indica puede figurar, dentro de lo posible, en el trabajo que se redacte:

(g) Riego óptimo para el rendimiento máximo de los cultivos y -- efectos de un riego excesivo en dicho rendimiento.

Al no haber podido iniciar, en esta primera fase, experiencias - centradas en la conjunción de los fines anteriores y al no tener datos con el menor error posible del primerop se exponen las que se han llevado a ca bo durante el periodo de 5 años en trigo, conducentes a determinar el fin siguiente:

INCIDENCIA DEL NUMERO DE RIEGOS Y CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL TERRENO AL - SER REALIZADOS SOBRE LA PRODUCCION DE TRIGO:

En esta experiencia se han ensayado simultáneamente, cada año, - las variedades de trigo que se dan a continuación: pané, dimas, mara e ímpeto, híbrido J-1, generoso, magdalena y mentana.

Planteamiento de la experiencia: En el campo de experimentación de la Sección de Hidráulica del Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas, sito en Alcalá de Henares (Madrid), cuyo croquis figura en este - trabajo, han sido realizados los ensayos aludidos, utilizando dos de sus - Parcelas y dividiendo en ellas cada bloque en 4 fajas.

De esta forma, en cada parcela se ha establecido un bloque para secano, con 4 variedades; otro para realizar los riegos cuando la humedad en el terreno descendía al 30% de su capacidad de retención útil; un ter- cero para analizarlos con el 50% de la humedad mencionada, y el cuarto man- teniendo el terreno prácticamente saturado a lo largo del ciclo vegetativo.

En estos bloques, como en el de secano, se sembraron en cada uno de los mismos cuatro variedades.

De esta forma, cada parcela tenía 4 variedades de trigo, implan- tadas en los 4 bloques, haciendo el total de las 8 variedades ensayadas.

La superficie media en cada bloque, según variedad, ha sido de $\frac{80 \times 24}{4} = \frac{1.920}{4} = 480 \text{ m}^2$, con dimensiones 20 x 24 mts.

Asimismo, al cambiar cada año la Parcela ensayada, reduciendo - todo el programa de experiencias a un solo año, es como si cada ensayo se hu

biera realizado para cada variedad con repetición en 5 parcelas, cubriendo con ello las anomalías de variabilidad de suelo y de preparación del terreno para el riego.

Estos ensayos figuran en los cuadros que se dan a continuación, con los datos siguientes:

	Secano	
Variedad	Riego con 30%	de humedad en el terreno
	Riego con 50%	de humedad en el terreno
	Riego con 100%	de humedad en el terreno

Rendimientos en Kg./Ha. Lluvias aportadas en el año, separadas las correspondientes a meses considerados clave del desarrollo vegetativo y las que no tienen este carácter. Volumen total de agua empleada en el cultivo, suma del volumen de riegos y el volumen de lluvias.

A los resultados anteriores ha sido aplicado un análisis de varianza, con el fin de poner de manifiesto la posible influencia que los niveles superiores de humedad en el terreno pueden ejercer sobre una posible disminución de la producción unitaria del trigo, según variedad.

No se expone el método de análisis seguido, por no ser trabajo específico del tema y alargaría su exposición perdiendo el fin específico que se persigue con su confección. Sin embargo, de este ensayo se está redactando por la Sección de Hidráulica del Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas la confección y publicación definitiva con todos sus detalles.

Las conclusiones de este ensayo, o experiencia, son las siguientes:

- a) El incremento productivo para el conjunto de variedades en Qm/Ha. entre secano y regadío, realizado el riego cuando la humedad en el terreno desciende al 30% su capacidad de retención, se cifra en 9,2 Qm/Ha.
- b) Las variaciones en el rendimiento unitario en Qm/Ha para el conjunto de variedades, según el contenido de humedad en el terreno al realizar los riegos, son, para el conjunto de variedades, las siguientes:

- Riegos con el 50% de la capacidad de retención de humedad en el terreno al ser realizados:

AGE		PAPE				URBAN				RURAL				TOTAL			
		SECAM	SEC. 2.	SEC. 3.	100% B.	SECAM	SEC. 2.	SEC. 3.	100% B.	SECAM	SEC. 2.	SEC. 3.	100% B.	SECAM	SEC. 2.	SEC. 3.	100% B.
1	Production Area	2,172	4,951	4,544	4,376	2,379	6,612	6,120	4,529	2,282	2,672	4,261	4,951	2,172	4,229	4,512	4,688
	NO CLAVES	2,172	1,171	2,172	1,171	1,279	1,172	1,172	1,171	1,172	1,172	1,172	1,172	1,172	1,172	1,172	1,172
	CLAVES	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000
	RISE	-	2,780	4,204	2,904	-	2,700	2,900	2,900	-	2,700	4,204	2,900	-	2,700	4,204	2,900
	TOTAL	2,172	2,931	4,544	6,121	2,172	1,940	4,920	6,121	2,172	4,229	6,426	6,121	2,172	4,229	4,480	4,121
2	Production Area	4,004	2,791	2,272	2,109	4,427	2,771	2,217	2,291	2,109	2,505	2,642	2,626	2,272	2,126	2,729	2,729
	NO CLAVES	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126
	CLAVES	2,878	1,665	1,146	1,000	3,301	1,645	1,091	1,165	1,100	1,379	1,516	1,500	1,146	1,000	1,603	1,603
	RISE	-	2,170	1,126	1,200	-	2,270	1,126	1,200	-	2,170	1,516	1,500	-	2,170	1,126	1,200
	TOTAL	4,004	2,296	2,272	4,112	4,427	2,297	2,217	2,291	2,109	2,505	2,638	2,626	2,272	2,126	2,929	2,929
3	Production Area	4,260	1,200	4,127	2,272	4,229	4,229	2,217	4,274	1,200	2,200	4,200	1,200	4,229	2,272	2,200	2,217
	NO CLAVES	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200
	CLAVES	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
	RISE	-	4,200	1,200	2,200	-	4,200	1,200	2,200	-	4,200	1,200	2,200	-	4,200	1,200	2,200
	TOTAL	4,260	2,200	4,229	4,229	4,229	4,229	2,217	4,274	1,200	2,200	4,200	1,200	4,229	2,272	2,200	2,217
4	Production Area	1,172	1,172	2,140	2,200	1,172	2,200	2,200	2,217	1,172	1,172	2,200	2,200	1,172	1,172	1,172	2,217
	NO CLAVES	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200
	CLAVES	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07
	RISE	-	2,200	2,200	2,200	-	2,200	2,200	2,200	-	2,200	2,200	2,200	-	2,200	2,200	2,200
	TOTAL	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200
5	Production Area	2,272	2,100	2,272	2,126	1,200	1,200	1,200	2,100	1,200	1,200	1,200	1,200	2,100	1,200	1,200	1,200
	NO CLAVES	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
	CLAVES	10	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
	RISE	-	2,100	2,100	2,100	-	1,200	1,200	2,100	-	1,200	1,200	2,100	-	1,200	1,200	2,100
	TOTAL	2,272	2,100	2,272	2,126	1,200	1,200	1,200	2,100	1,200	1,200	1,200	1,200	2,100	1,200	1,200	2,100

Descenso de 0,81 Qm/Ha. en relación con la producción regada cuando la humedad en el terreno desciende al 30% de su capacidad de retención.

- Riegos manteniendo el terreno prácticamente en el 100% de su capacidad de retención, es decir, relativamente próximos a saturación.

Descenso de 0,91 Qm/Ha en relación con la producción regada cuando la humedad en el terreno desciende al 30% de su capacidad de retención.

Resumiendo, se observa una tendencia, en el conjunto de variedades ensayadas, a disminuir su producción conforme aumenta el % de humedad en el terreno de su capacidad de retención al realizar los riegos.

- c) Analizando aisladamente las producciones por unidad de superficie, entre secano y regadío, realizando los riegos cuando la humedad en el terreno desciende al 30% de su capacidad de retención, se observa incremento acusado para este último caso en todas las variedades, pero con diferencias apreciables comparadas entre ellas.
- d) Analizando aisladamente las producciones por unidad de superficie, entre riegos realizados con contenidos de humedad en el terreno en % de su capacidad de retención del 30%, 50% y 100%, se observa descenso progresivo de esta en la casi totalidad de las variedades ensayadas, excepto en una, donde se acusa incremento progresivo.
- e) Contrastando los rendimientos o producciones por unidad de superficie y agua consumida, por el empleo de riego por aspersión y riego de pie, se observó para algunas variedades incremento productivo por el empleo de riego por aspersión, nunca descenso, y si, en todas, un ahorro de agua, para producción similar o superior, nunca inferior a los 531 m³/Ha., por el empleo de riego por aspersión, sobre una necesidad total en riego de pie de 2.100 m³/Ha, como media.

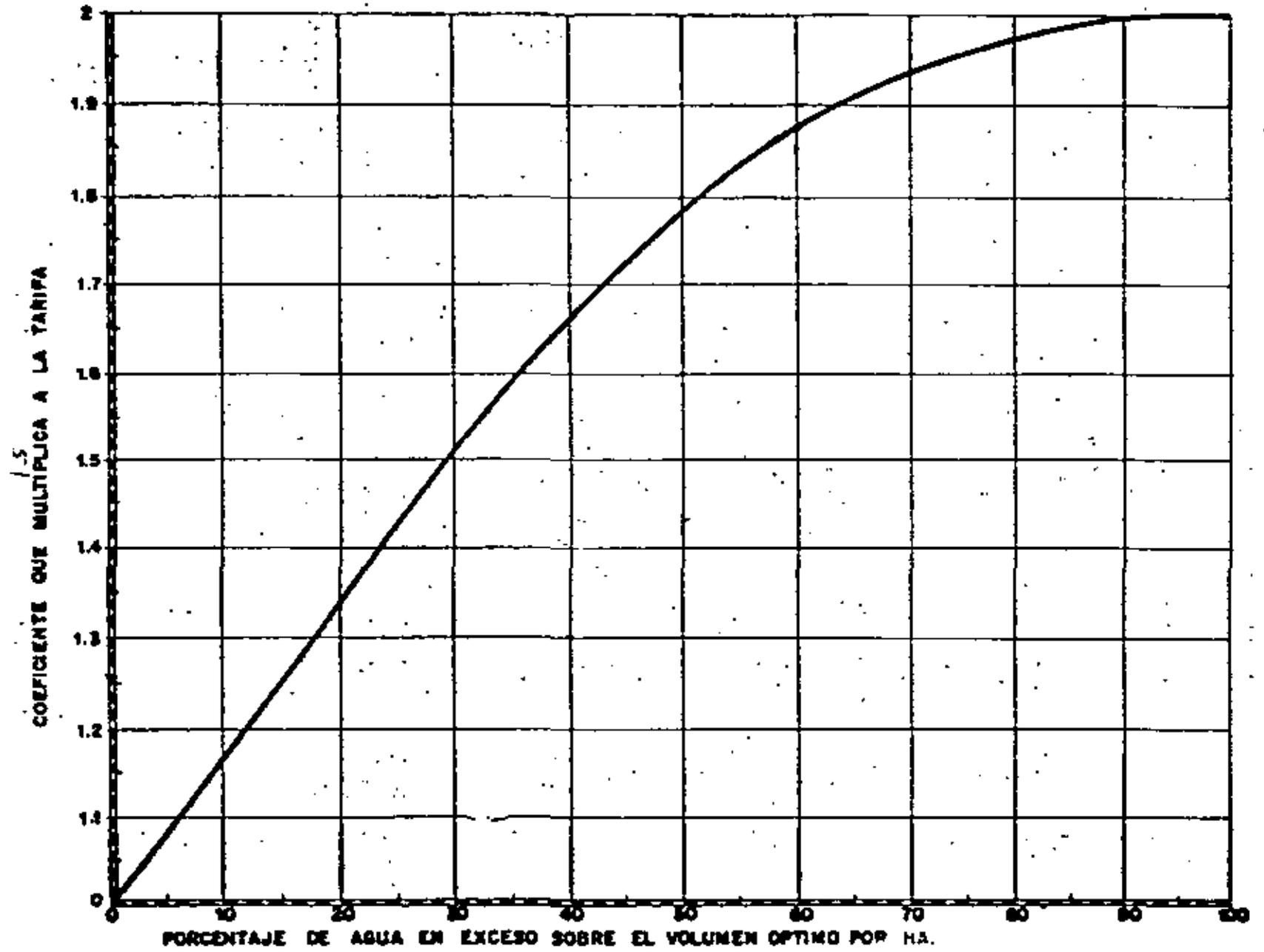
ANEJO QUE SE CITA

INFLUENCIA SOBRE UNA TARIFA RACIONAL DE RIEGO DE FACTO-
RES CULTURALES Y TECNICOS QUE INTERVIENEN EN LA
APLICACION DEL AGUA

Los datos que se dan a continuación, así como los gráficos, han sido extractados de estudios económicos sobre utilización óptima del agua de riego y su repercusión en el coste de la misma realizados en la Universidad de Utah (E.U.A.).

- 1º - En toda utilización y empleo del agua de riego con máximo aprovechamiento, la meta que se persigue es alcanzar por m^3 de agua empleado la producción máxima, o por Qm. de cosecha obtenido un empleo mínimo de m^3 de agua. En esta directriz tienen importancia primordial el sistema de riego utilizado y la preparación o acondicionamiento que presenta el terreno para el mismo. Salta por tanto, mirando el agua como bien común unido a disponibilidades de ella limitadas, la necesidad de que su empleo se realice con el mayor rendimiento, favoreciendo e impulsando por otro lado los medios necesarios para lograrlo. En este sentido, parece que uno de los principales sea que, frente a un volumen óptimo de utilización previamente fijado para cada Cuenca Hidrográfica, todo aumento en su empleo superior al mismo, tanto anual como en los periodos de riego considerados críticos para el cultivo, se refleje en la tarifa incrementándola.

ANEJO
GRAFICO N° 1



A este fin, y como orientación a este respecto, figura el - Gráfico N° 1, que relaciona el porcentaje de incremento de agua usada sobre el volumen óptimo con un coeficiente de incremento de la tarifa de riego señalada.

En este gráfico, figuran en abscisas los porcentajes de incremento y en ordenadas el coeficiente multiplicador de la tarifa.

Exponemos un ejemplo de aplicación. Tenemos, para una zona - enclavada en una cuenca hidrográfica, un porcentaje de incremento de agua gastado sobre el considerado como volumen óptimo del 50%; señalando este valor en abscisas y levantando - por él la vertical hasta su encuentro con la curva, así como trazando por este punto la horizontal, nos encontramos - en el eje de ordenadas con un coeficiente de 1,97 que multiplica a la tarifa en vigor.

- 2° - Caso opuesto al anterior es el de suministros de agua para riego que no proporcionan en una campaña el volumen considerado como óptimo en los periodos críticos de ella. En este caso el agricultor regante debe ser compensado con una tarifa reducida, del perjuicio que le representa la anomalía en el suministro.

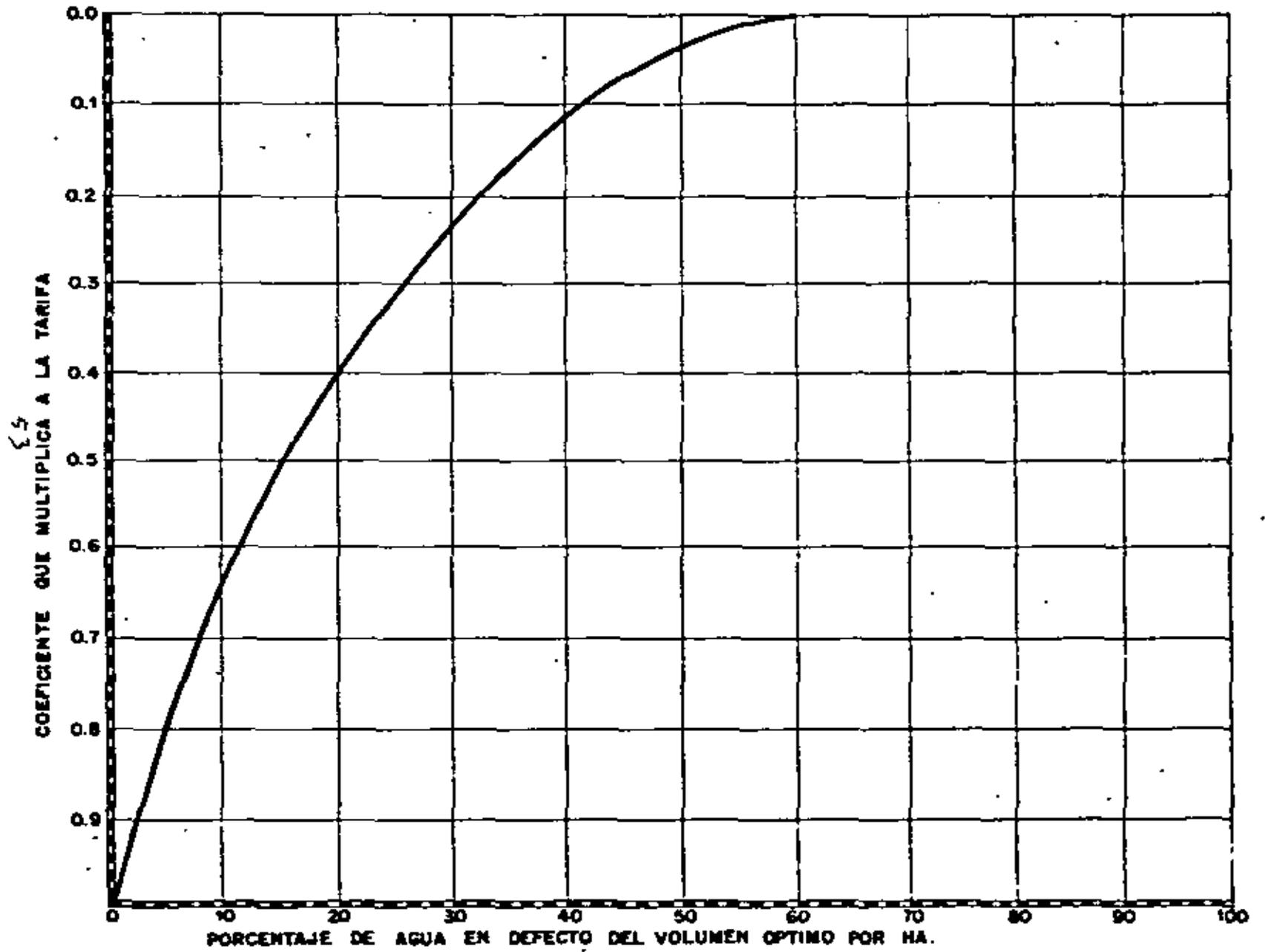
Para ello, damos unido a este trabajo el Gráfico N° 2, que relaciona en abscisas el porcentaje de agua suministrado en defecto, por debajo del óptimo, con el coeficiente reductor de la tarifa en ordenadas, por intermedio de la curva que - refleja el enlace de estos valores.

Este gráfico indica que por debajo de una reducción máxima del 50%, máxima en momento crítico del período vegetativo - del cultivo, la tarifa debe ser prácticamente nula.

Su empleo es como sigue: se señala en el eje de abscisas el porcentaje de agua suministrado en defecto del considerado normal; se levanta por él la ordenada hasta su encuentro - con la curva y, por este punto, se traza la horizontal, que proporciona en el eje de ordenadas el coeficiente que afecta a la tarifa.

Un ejemplo de aplicación es el siguiente: la tarifa en una zona de una cuenca hidrográfica es A; por razones de falta de disponibilidades se suministra el 60% del volumen de --

ANEJO
GRAFICO N° 2



agua considerado óptimo; este valor nos proporciona un coeficiente de 0,00 que multiplica a la tarifa anulándola.

Lo expuesto en estos dos primeros casos, que se dá a título de orientación, habiendo tomado los datos y gráficos de trabajos realizados y en marcha sobre algunas zonas de riego - de E.U.A. por la Universidad de Utah, Sección de estudios - Económicos, señala el aspecto siguiente: la necesidad de -- que en todo régimen de tarifa esta sea mixta, es decir, función del agua consumida y de la superficie regada. Es decir, señalar por dotación autorizada la superficie de riego que puede atender, abonando la tarifa con arreglo a esta y siguiendo para los volúmenes de agua suministrados, en exceso o por defecto, el sistema de tarifa obtenido como base - del volumen considerado como óptimo por unidad de superficie, con las rectificaciones expuestas en estos dos casos.

- 3º - La diversidad geográfica que presentan las diversas cuencas hidrográficas va unida con carácter similar a la climática y, dan lugar a dos factores decisivos en la rentabilidad de las zonas de riego en ellas enclavadas, que son: número de días anuales de periodo vegetativo disponibles y consumo de agua necesario en relación con la evapotranspiración de los cultivos.

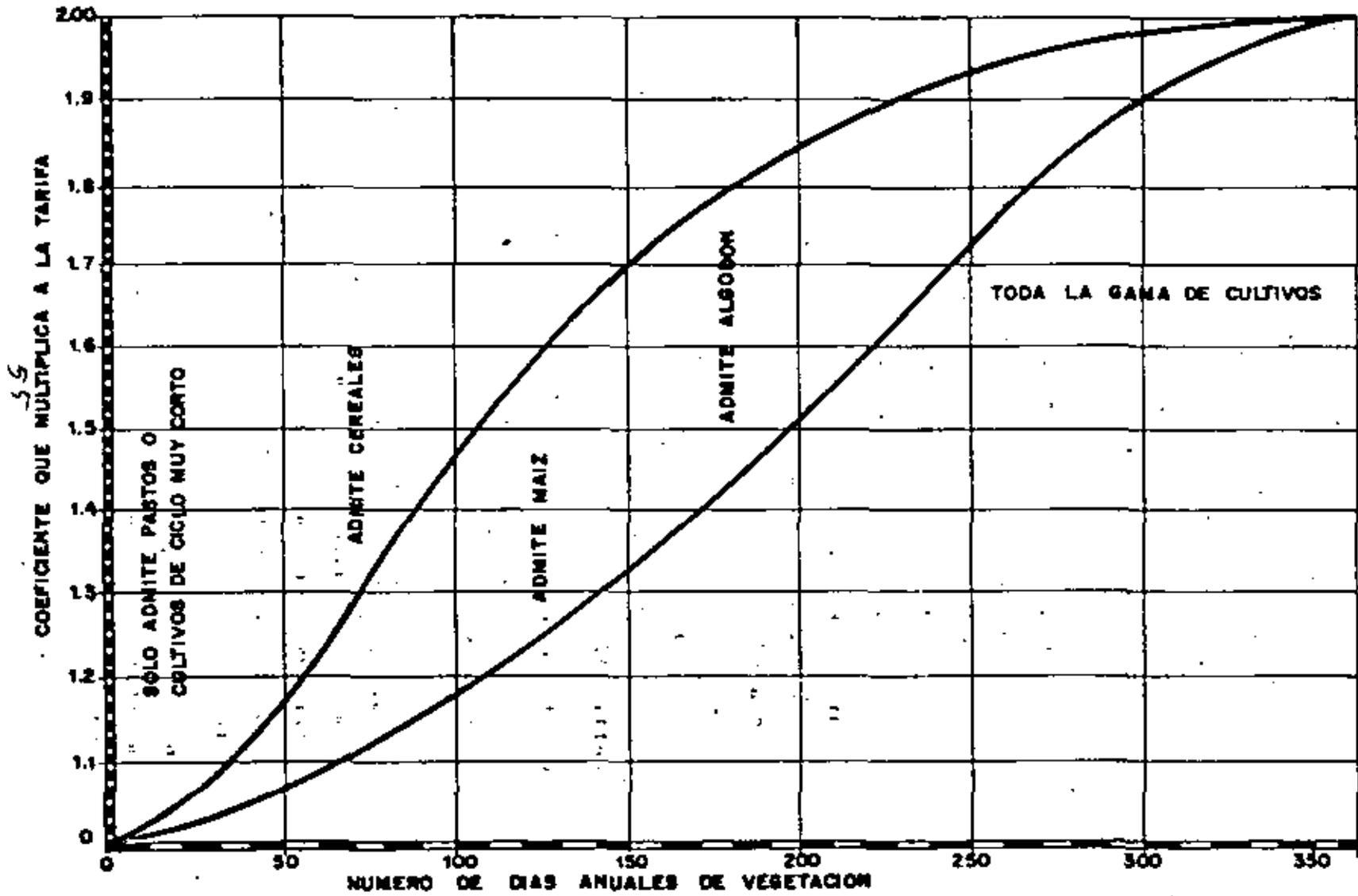
Condiciones que a su vez señalan la gama de cultivos factibles y por tanto el enfoque cultural y rentable de las explotaciones.

A este fin, y con la misma procedencia que los gráficos anteriores, se une al trabajo el N° 3, que relaciona el número de días anuales de periodo vegetativo disponibles, por intermedio del consumo de evapotranspiración diarios alto o bajo, con un coeficiente corrector de la tarifa incrementándola.

En este gráfico, figura en líneas generales la gama cultural admisible, en relación con el número de días anuales de periodo vegetativo disponibles.

Un ejemplo de aplicación es el siguiente: en una zona de -- una cuenca hidrográfica se dispone de 200 días de periodo vegetativo y, en ella, el consumo diario de evapotranspiración es alto. Se levanta en el valor 200 de las abscisas una

ANEJO
GRAFICO N° 3



vertical hasta su encuentro con la curva de consumo diario de agua alto; se traza una horizontal que nos dá en el eje de ordenadas el coeficiente 1,85 que multiplica la tarifa.

Si esta zona con el mismo número de días de periodo vegetativo se encuentra enclavada en condiciones de consumo diario de agua bajo, el valor que se obtiene es de 1,50.

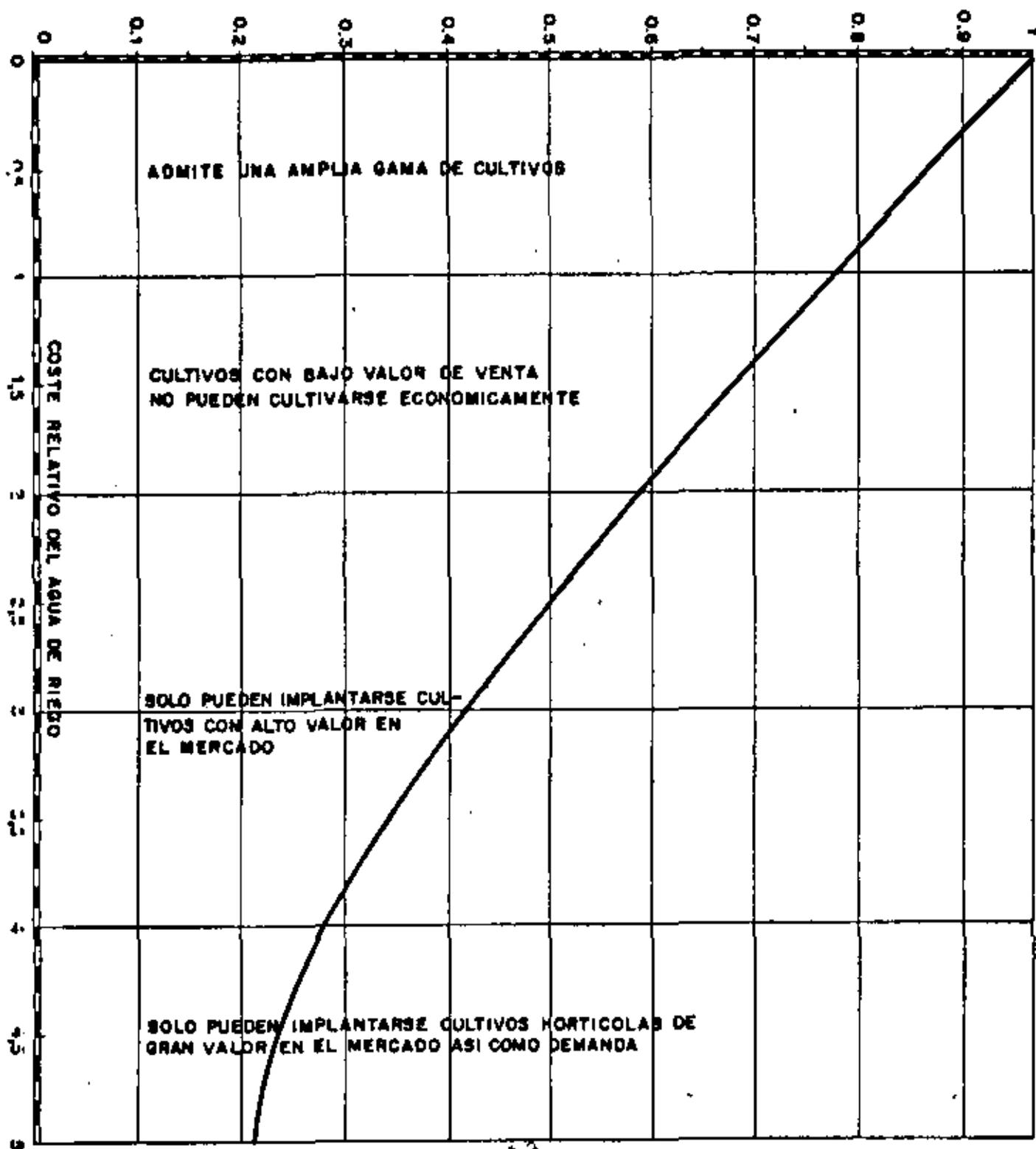
- 4º - Es normal el caso de elevaciones en las realizaciones o transformaciones en regadío, justificadas por la necesidad económico-social que algunas presentan. Con ello resultan costos de explotación demasiado elevados para los cultivos que han de atenderse y que, por tanto, deben gozar de una reducción en la tarifa acorde con este carácter, teniendo en cuenta que su producción influye indirectamente en la economía general del país.

Para este fin, damos el gráfico Nº 4, en el que figura en abscisas el coste relativo del agua en la zona afectada, en relación con el considerado normal, y en ordenadas el coeficiente que afecta a la tarifa, enlazados estos dos valores por la curva de variación correspondiente. Asimismo, figuran en el gráfico las zonas de los costes relativos del agua de riego con la faceta cultural que admiten con escasa variación de ellos.

Su manejo es el siguiente: el coste de la tarifa de riego en la zona de estudio se divide por el considerado normal en el ámbito nacional; este valor se lleva a las abscisas y se levanta la vertical hasta su encuentro con la curva. La horizontal hasta el eje de ordenadas nos proporciona el coeficiente que multiplica la tarifa reduciéndola.

El cálculo expuesto se realiza siempre que el valor obtenido para el coste relativo del agua de riego no coincide en la faceta cultural que va señalada en el gráfico.

COEFICIENTE QUE MULTIPLICA A LA TARIFA



ANEJO
GRAFICO Nº 4



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



MECANIZACION Y AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

NECESIDADES DE AGUA EN LOS CULTIVOS
(COMPLEMENTO)

DR. FAUSTINO GARCIA LOZANO

JULIO, 1980



EXPERIENCIAS EN "EL ENCIN"

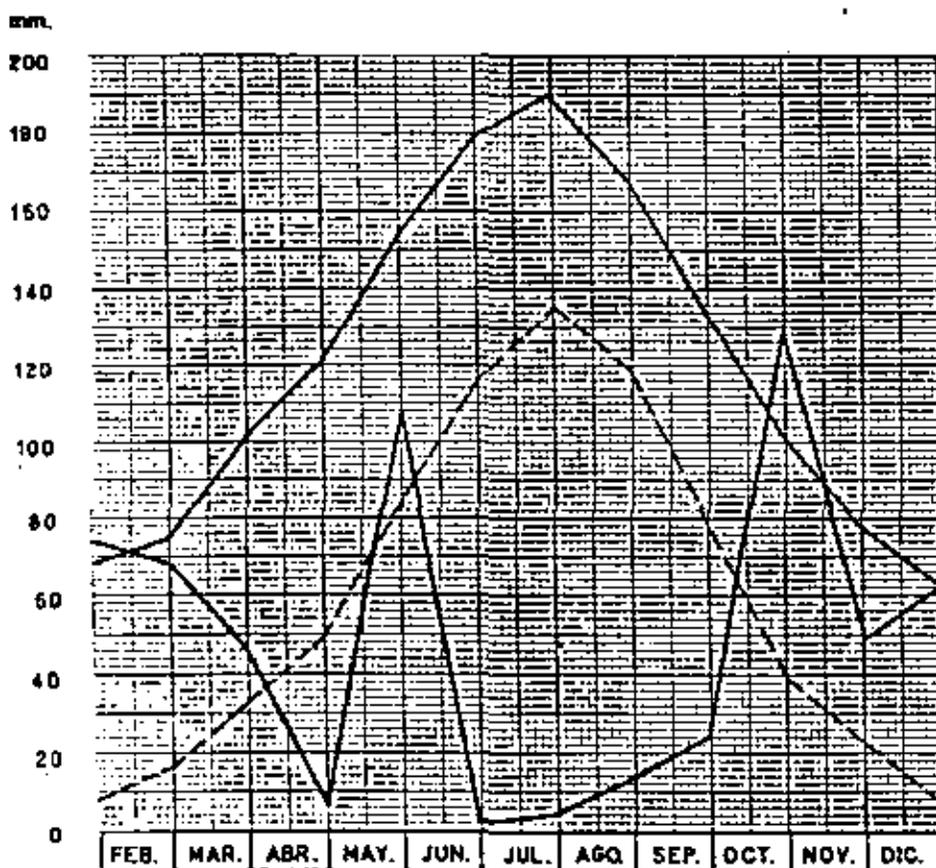
CULTIVO: REMOLACHA



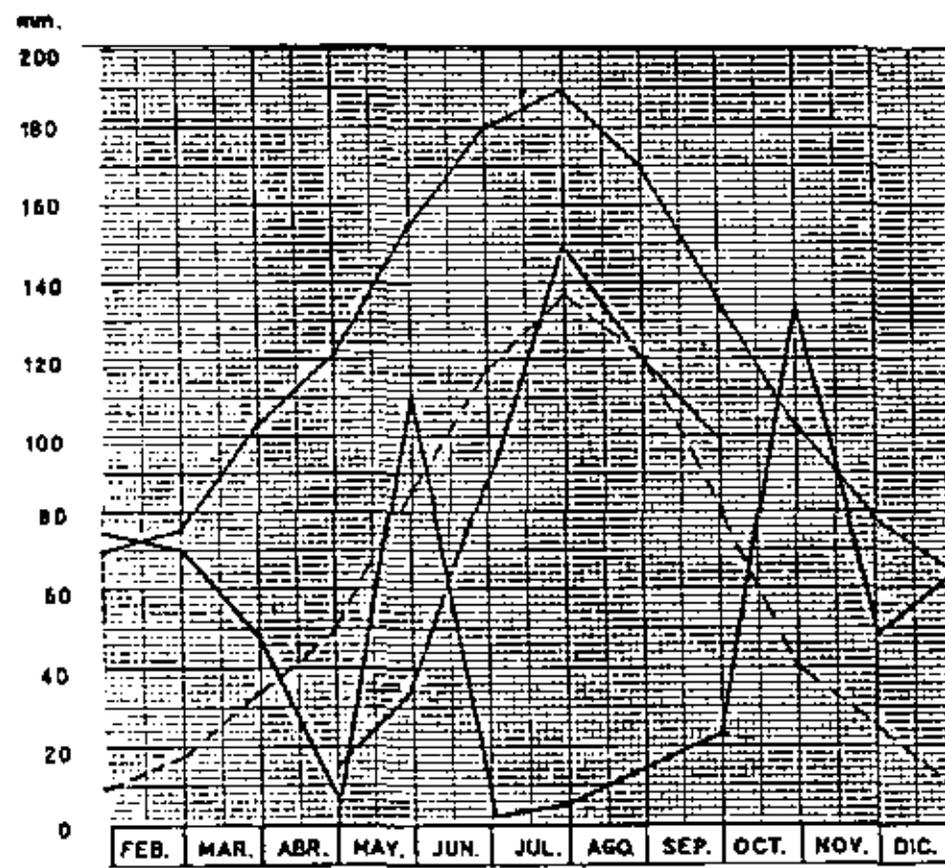
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperaturas medias	4,6	7,0	8,6	12,8	16,2	21,3	22,8	21,2	18,7	13,3	8,7	4,0	
Precipitación	14,4	70,6	47,3	5,7	21,0	3	8,8	18,5	24,7	135,7	48,1	82,5	681,7
Consumos utilizando fórmula de Blaney-Criddle	10,04	17,42	23,89	40,85	85,79	128,84	127,16	120,70	81,32	40,32	24,8	8,88	
Consumos utilizando fórmula de Blaney-Criddle con K=1	49,69	75,84	103,88	121,84	155,89	190,70	189,20	170,18	138,62	102,99	78,81	84,83	
Consumos utilizando sistema riego por aspersión, rendimiento 80%				150	300	800	1.500	1.200	1.000				8.100
Consumos riego con rendimiento 100%				127,5	207,5	765	1.275	1.020	850				6.330,0
Consumos utilizando sistema riego de pozo secunario													
Pérdidas por infiltración y evaporación													
Rendimiento sistema riego de pozo secundario													
Coefficiente corrector de la fórmula Tradicional Blaney-Criddle				0,37; 0,35	0,63; 0,66	0,63; 0,44	0,97; 0,70	0,97; 0,85	1,38; 0,83				
Aspergidos e incidencias vegetativas													
Mes de mayor demanda y período de estado vegetativo													
Fertilizante de abono utilizado	super 300,	sulfato	400,	potasa 100;	nitroto 100,	superfina							
Gm de producción por Ha abonada	330 super.												
Gm por m ² /Ha de agua consumido	0,084 aspersión												
Fecha de siembra	10 Marzo,												
Fecha de recolección													

FINCA.....EL ENCIN.....
 CULTIVO...REMOLACHA.....
 AÑO .1.960...

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



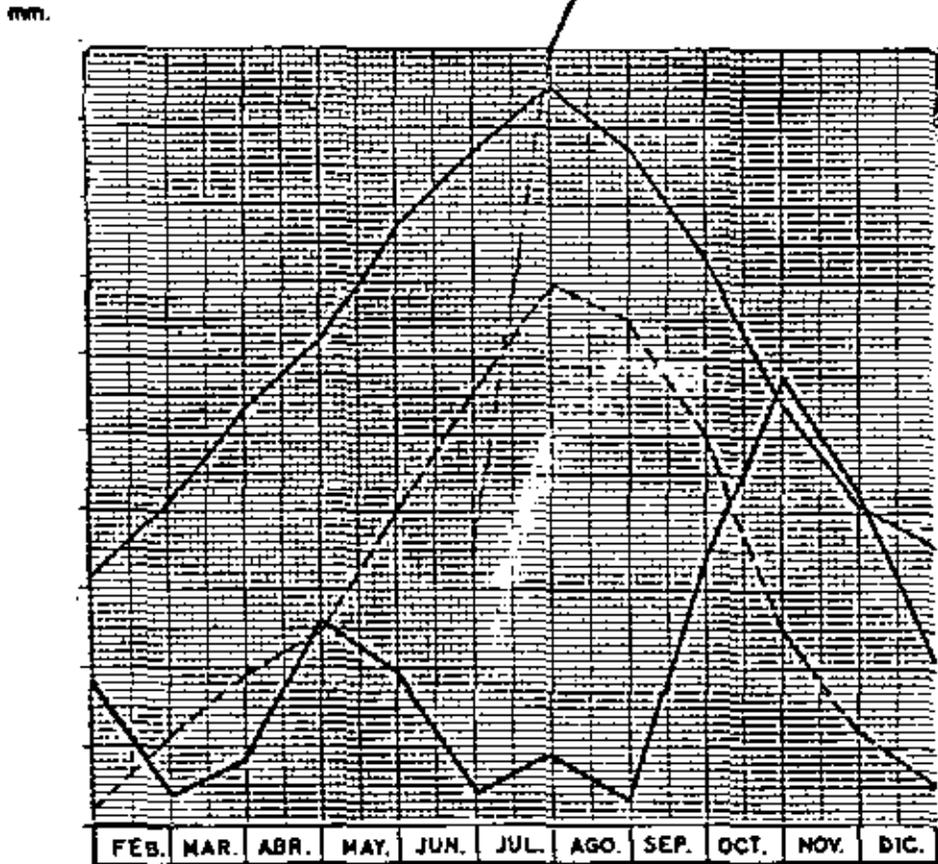
RIEGO DE PIE



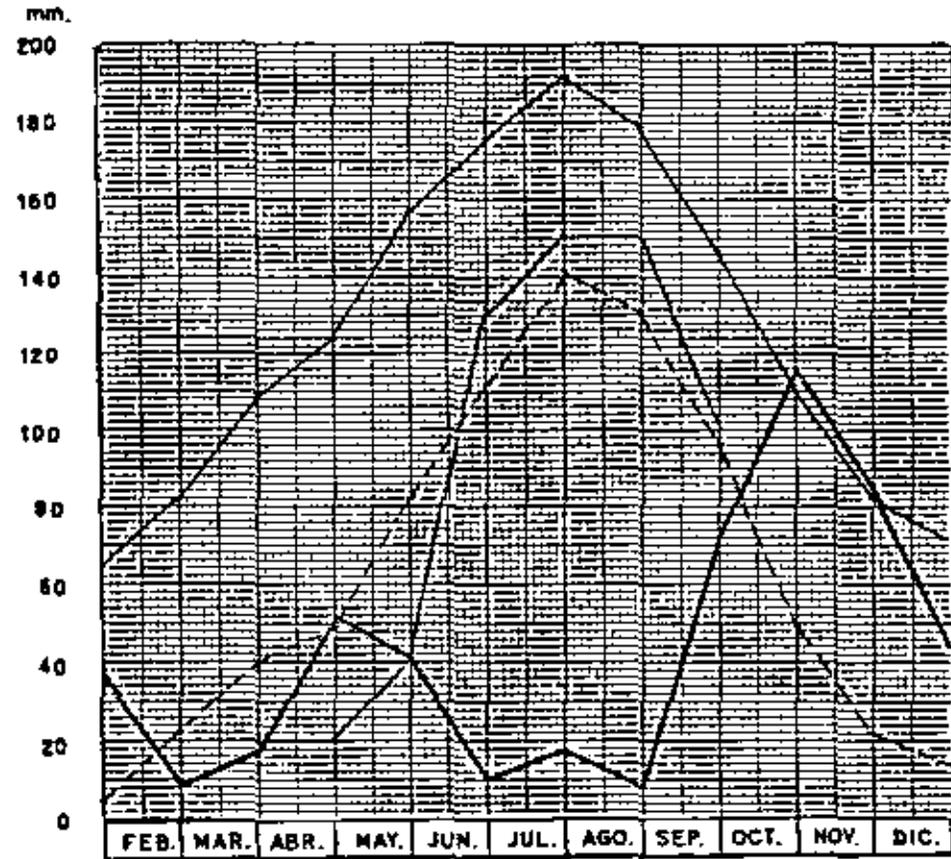
RIEGO POR ASPERSION

FINCA.....EL ENCLIN.....
CULTIVO.....REMOLACHA.....
AÑO 1.961...

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



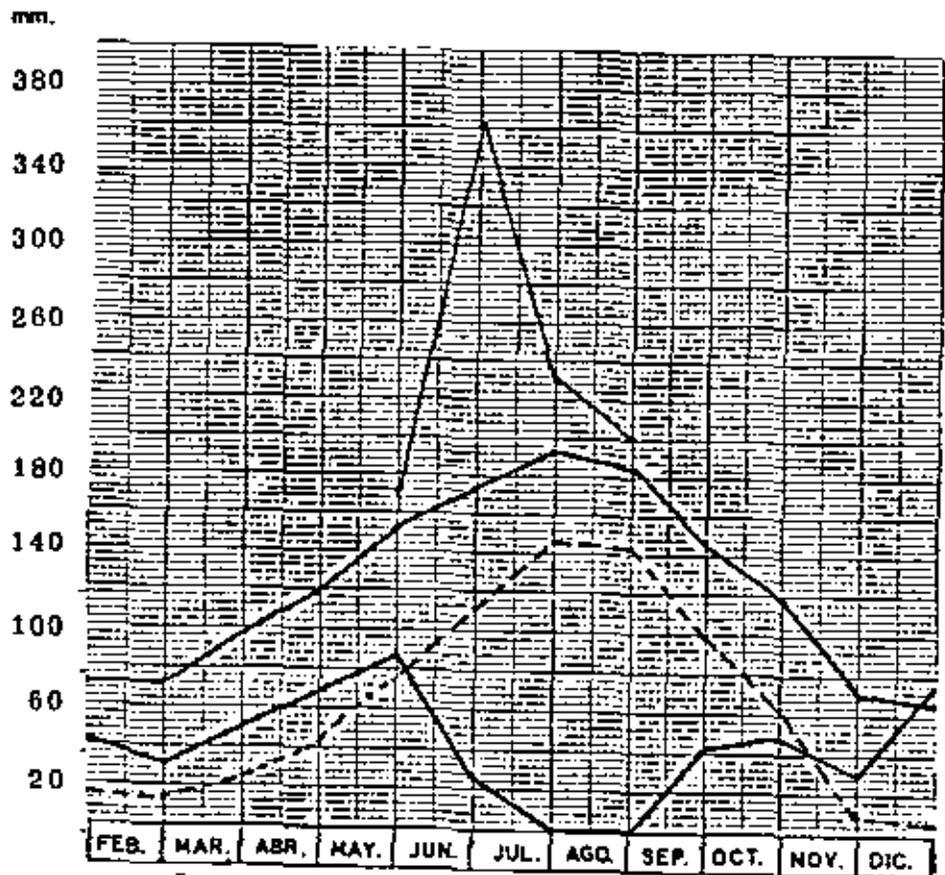
RIEGO DE PIF



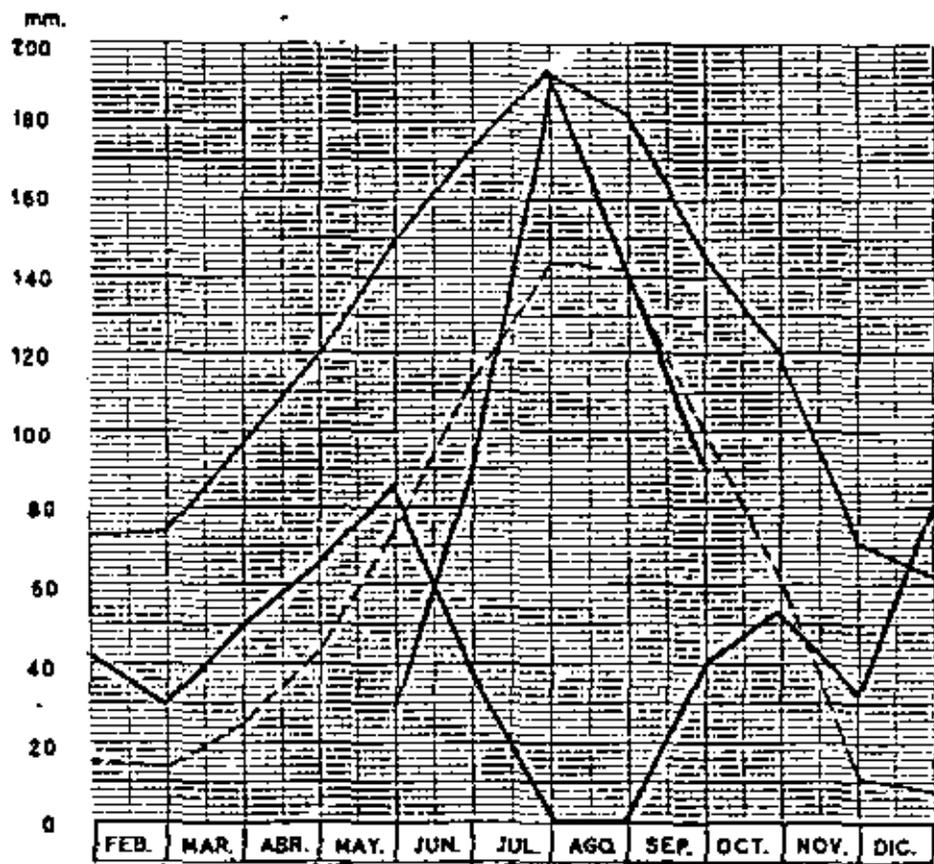
RIEGO POR ASPERSION

FINCA.....EL ENCIN.....
 CULTIVO.....REMOLACHA.....
 AÑO 1.962...

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



RIEGO DE PIE

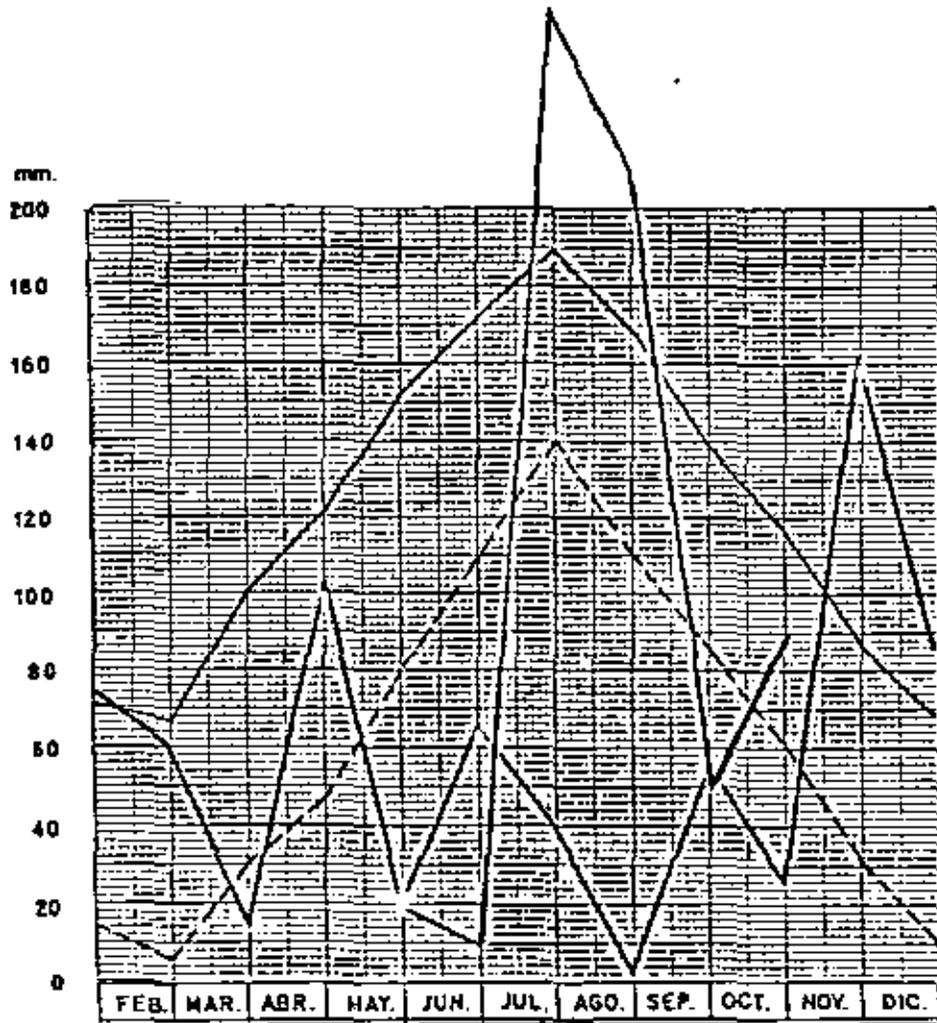


RIEGO POR ASPERSION

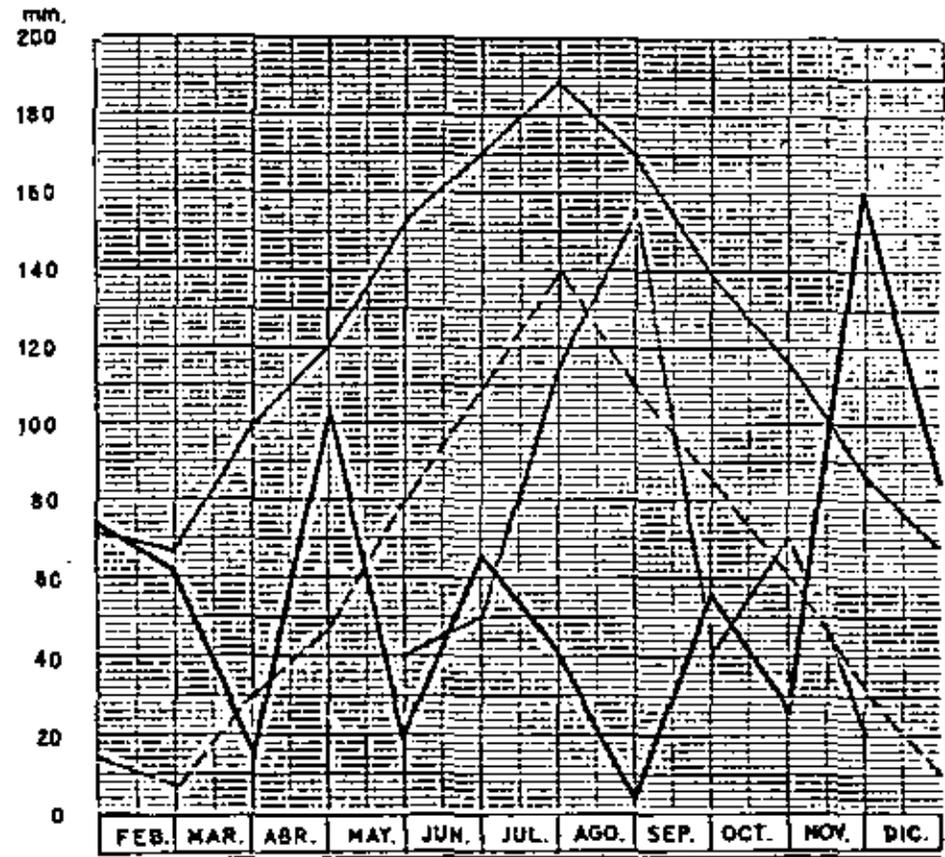
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperatura media	8,2	3,7	8,8	13,4	18,5	18,8	22,7	21,2	17,8	14,7	9,9	4,7	
Pluviosidad	73,7	81,0	13,7	108,4	17,2	68,5	27,4	8	48,1	29,4	100,4	81,2	696,1
Cosecha utilizando fertilizante de Thorsström	12,80	7,47	30,9	46,88	81,64	128,72	148,07	120,38	84,24	80,40	28,88	9,72	
Cosecha utilizando fórmula de Blaney-Criddle con 2-1	71,22	82,78	101,02	118,51	152,27	158,38	169,09	169,72	136,92	116,88	84,77	87,18	
Cosechas utilizando sistema riego por aspersión, rendimiento 85%					400	500	1150	1550	400	700	800		4.900
Cosechas riego con rendimiento 100%					340	425	977	1317	340	582	170		4.164
Cosechas utilizando sistema riego de goteo y abarcamiento					300	100	2500	2100	500	800			6.300
Pérdidas por infiltración y evaporación							1523	782	160	305			
Rendimiento sistema riego de goteo y abarcamiento					1,70	4,25	0,54	0,63	0,68	0,88			
Coeficiente corrector de la fórmula Thorsström, Blaney-Criddle					0,62; 0,34	1,00; 0,5	0,96; 0,71	1,06; 0,77	1,07; 0,88	1,40; 0,74	1,24; 2,08		
Advertencias o especiales vegetativas													
Método de mayor demanda y período de estado vegetativo													
Fertilizantes de abarcamiento utilizados	400 super., 400 nitro	400 super., 400 nitro	400 super., 400 nitro	400 super., 400 nitro	400 super., 400 nitro	400 super., 400 nitro	400 super., 400 nitro	400 super., 400 nitro	400 super., 400 nitro	400 super., 400 nitro	400 super., 400 nitro	400 super., 400 nitro	
Ora de producción por Ha abonada	230 pie	230 aspersión											
Ora por m ² /Ha de agua consumida	0,038 pie	0,047 aspersión											
Pérdida de plantas	78 m ² pie	13 m ² aspersión											
Pérdida de cosecha													

FINCA.....EL ENCIN.....
 CULTIVO.....REMOLACHA.....
 AÑO...1.963.

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



RIEGO DE PIE



RIEGO POR ASPERSION

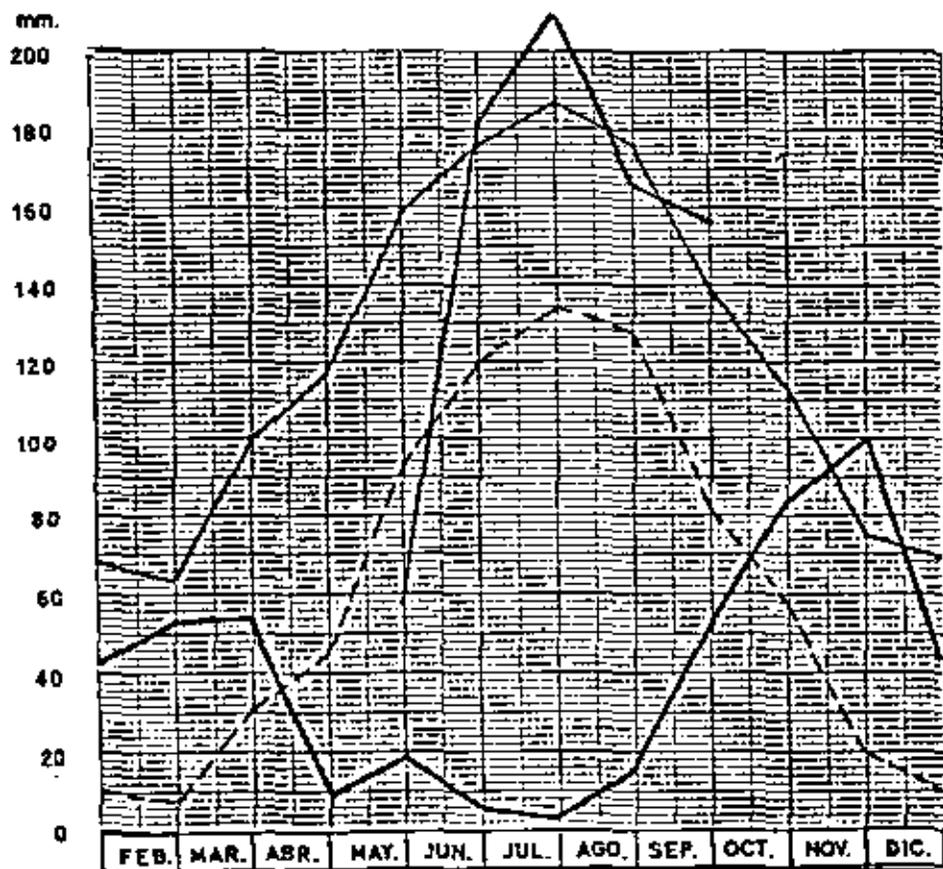
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperatura media	4,3	3,7	6,6	10,7	17,0	20,5	21,7	22,6	18,2	14,5	7,6	5,6	
Pluviosidad	44,0	53,6	53,8	6,5	17,6	6,3	3,0	14,5	51,2	81,6	100,9	54,7	489,7
Consumo utilizando fórmula de Thornthwaite	10,04	7,47	30,90	43,29	93,25	180,32	133,39	127,80	84,24	37,60	19,84	12,10	
Consumo utilizando fórmula de Blaney-Criddle con K=1	65,16	65,78	100,26	116,64	199,56	177,03	185,01	176,31	136,37	114,34	77,41	69,59	
Consumos utilizando sistema riesgo por evaporación, reduciendo 83 %					414,4	982,3	1436,0	1157,2	806,2				4798,1
Consumos reales sin riego (80%)					352,24	834,95	1222,30	983,52	685,27				4078,26
Consumos utilizando sistema riesgo de pi e sucesivamente					57,5	9820	2127,5	1655,1	1565,0				7225,1
Pérdida por infiltración y evaporación					-294,74	981,05	905,20	671,48	879,73				
Rendimiento sistema riesgo de pi e sucesivamente					6,12	0,46	0,57	0,59	0,44				
Coefficiente de corrección de la fórmula Thornthwaite, Blaney-Criddle					0,570,33	0,7410,51	0,9410,68	0,8810,64	1,4210,86				
Anormalidad o incidencias vegetales													
Mes de mayor humedad y período o estado vegetativo													
Fórmula de abono utilizado													
Dos de producción por ha con riego	223,89												
	272,04	espera- pio											
Dos por m ² de agua consumida	0,666	espera- pio											
	0,037												
Fecha de siembra													
Fecha de cosecha													

FINCA.....EL ENCIN.....

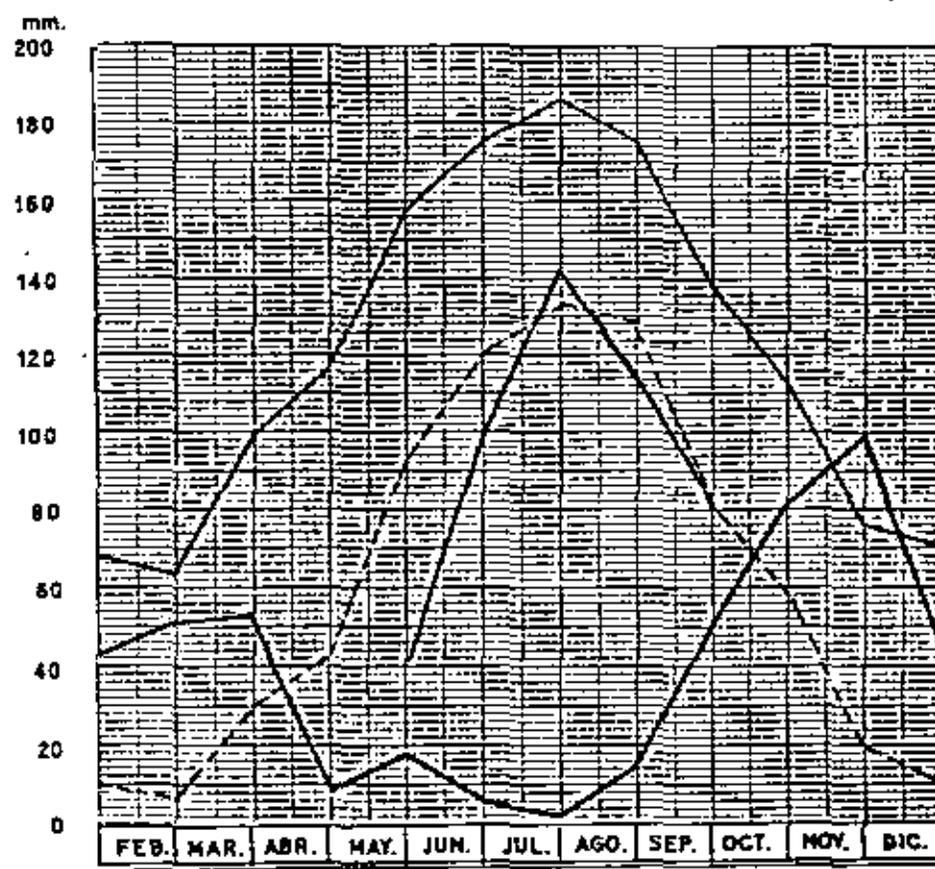
CULTIVO.....HEMOLACHA.....

AÑO ..1.965..

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



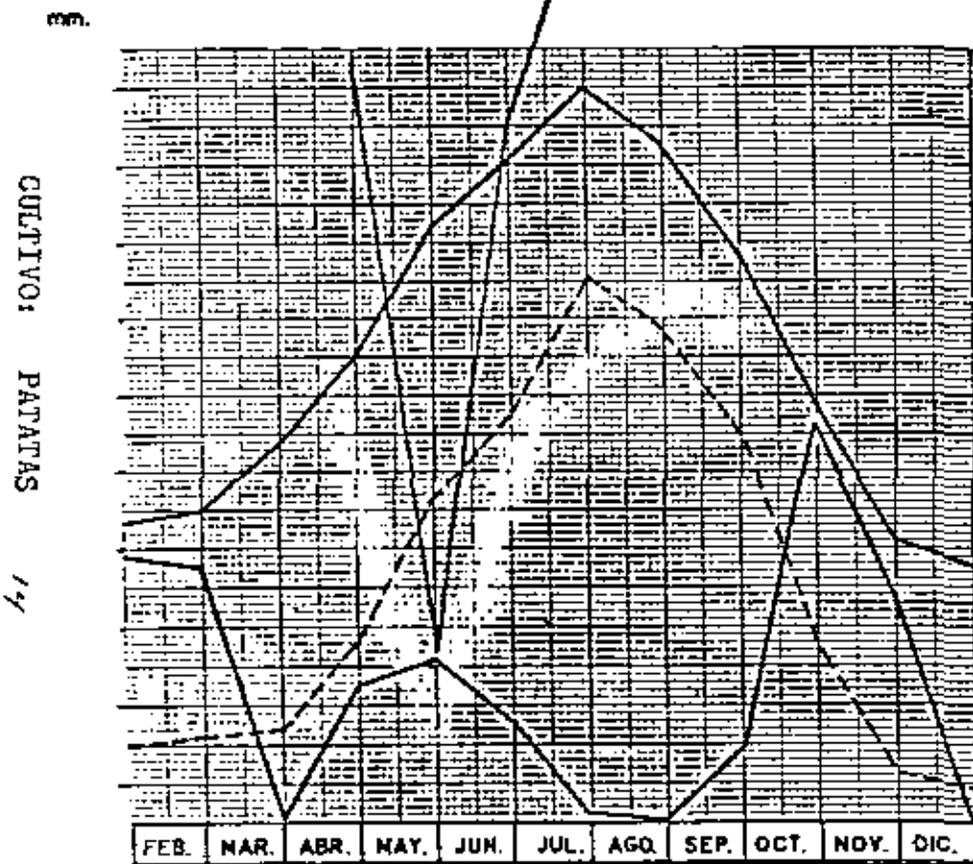
RIEGO DE PIE



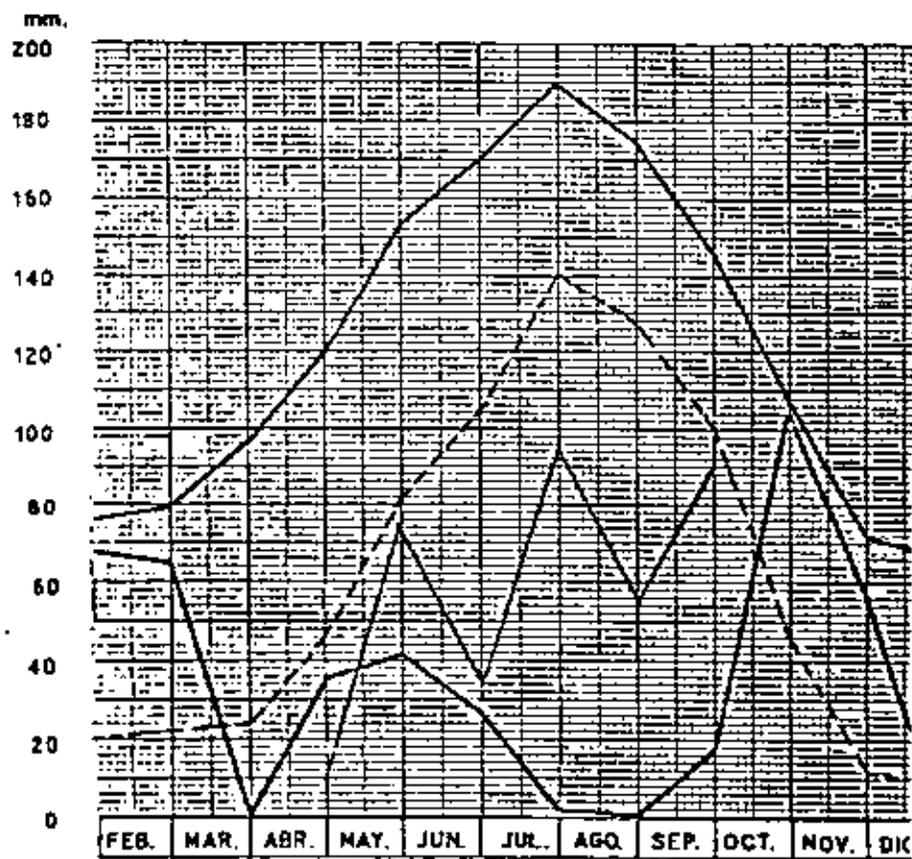
RIEGO POR ASPERSION

FINCA EL ENCIN
 CULTIVO BEMOLACHA
 AÑO 1.966...

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



RIEGO DE PIE

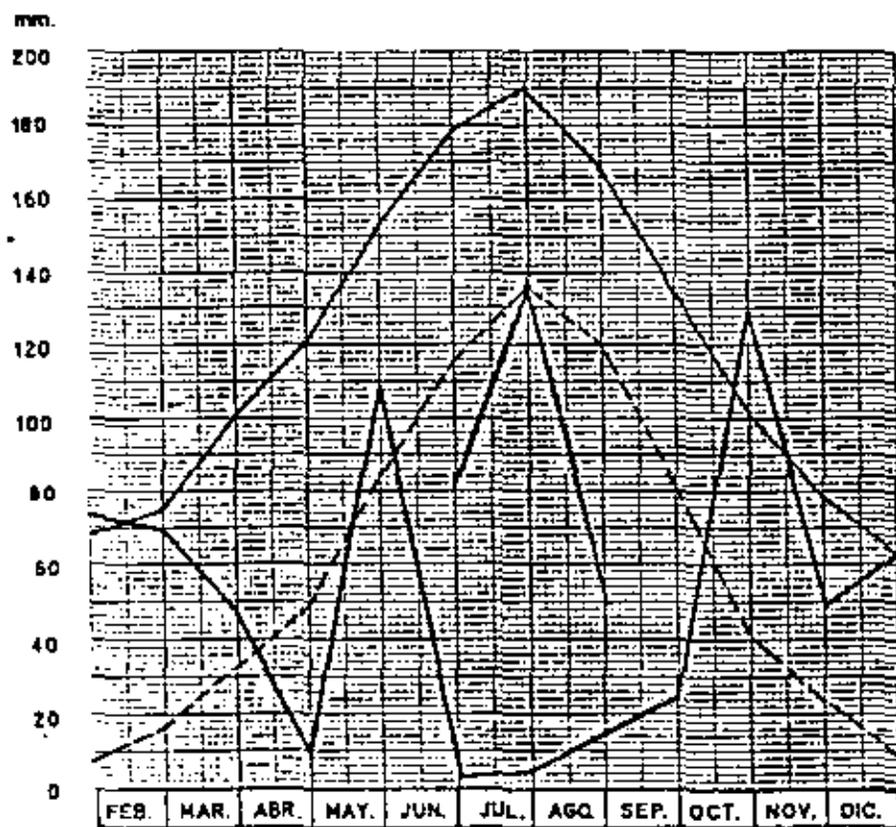


RIEGO POR ASPERSION

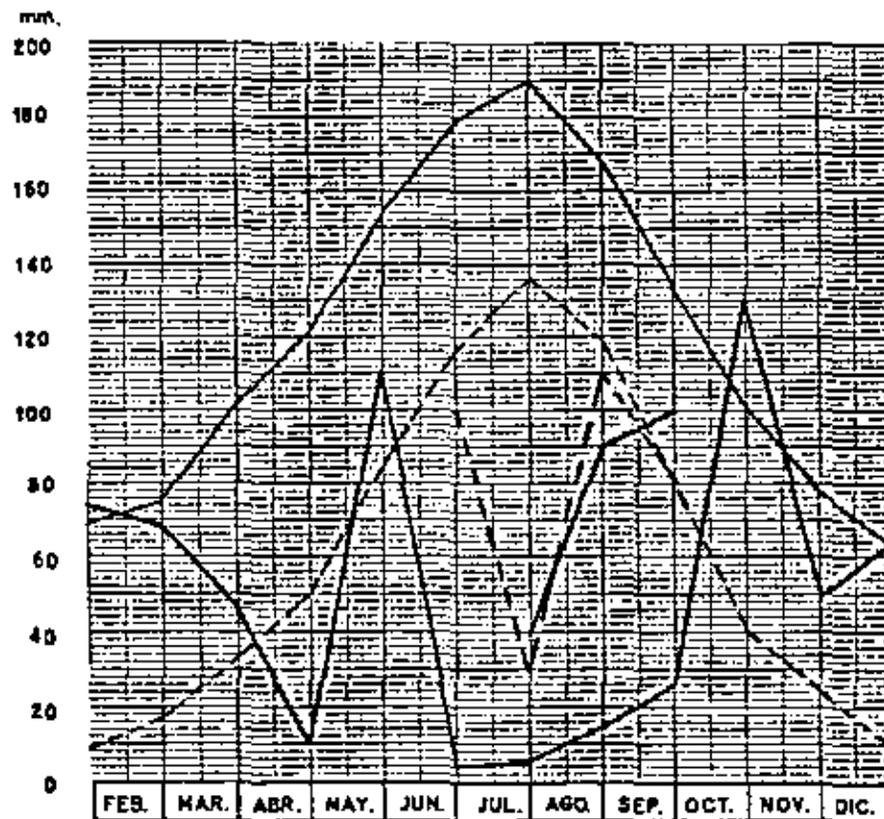
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperatura media	4,8	7,0	9,4	11,9	14,2	21,3	22,8	21,2	18,7	11,3	8,7	4,9	
Pluometría	74,4	70,8	47,2	5,7	110	3	4,4	15,8	24,7	122,7	49,1	62,8	601,7
Consumo utilizando fórmula de Theobald	10,04	17,43	33,99	49,95	85,79	125,84	127,16	120,70	81,12	49,32	24,8	9,68	
Consumo utilizando fórmula de Bony-Cridde con K ₁	59,09	75,84	103,85	121,64	155,97	160,70	189,20	170,16	136,82	102,99	72,81	54,23	
Consumo utilizando sistema riego por aspersión, riego 85%						100	400	800	1000				1.300
							300	200	800				2.300
Consumo riego aproximadamente 100%						25	320	733	650				1.728
							255	835	890				1.935
Consumo utilizando sistema riego de pozo abastecido						810	1370	500					2.700
Pérdida por infiltración y evaporación						745	635	865					
							1115	435					
Rendimiento sistema riego de pozo abastecido						0,10	0,20	1,55					
							0,18	1,87					
Coeficiente eficiente de la fórmula Theobald, Bony-Cridde						0,07; 0,08	0,25; 0,18	0,54; 0,44	0,35; 0,20				
							0,19; 0,14	0,78; 0,56	1,34; 0,68				
Asociación o sucesión vegetales													
Método mayor demandado y período de estado vegetativo													
Fórmula de abonos utilizados													
Ora de producción por Ha obtenidas													
Cm por m ² /ha de agua consumida													
Fecha de siembra													
Fecha de cosecha													

FINCA..... EL ENCIN.....
 CULTIVO..... PATATAS.....
 AÑO 1.960.

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



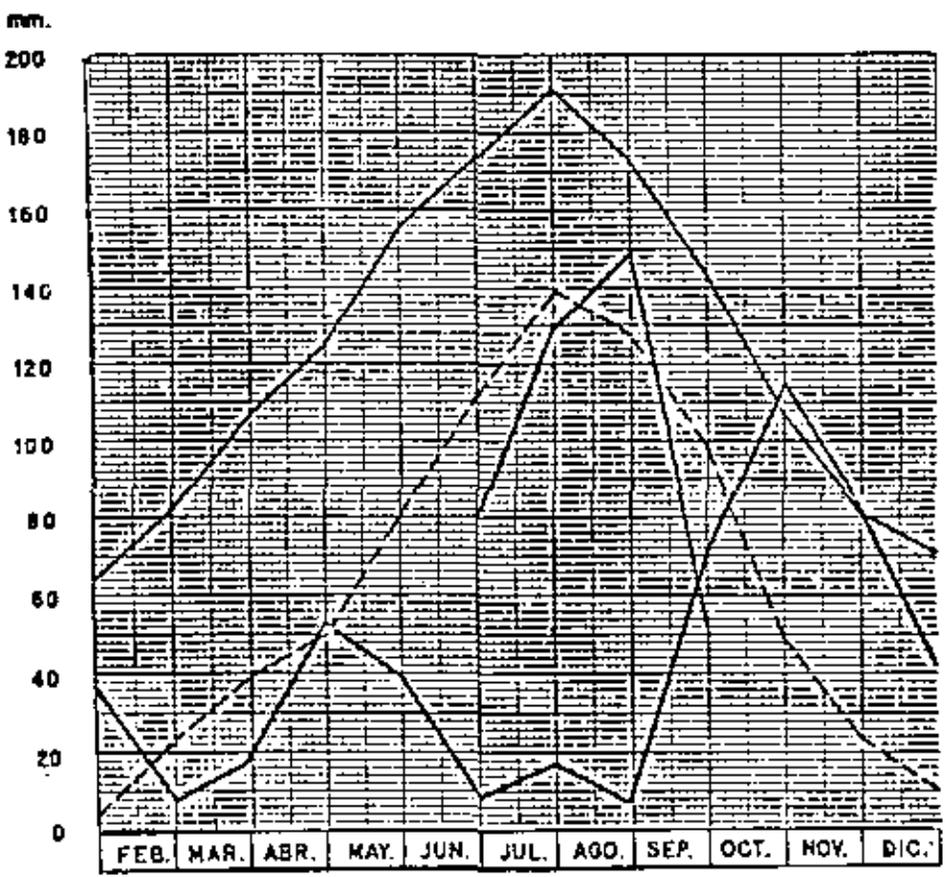
RIEGO DE PIE



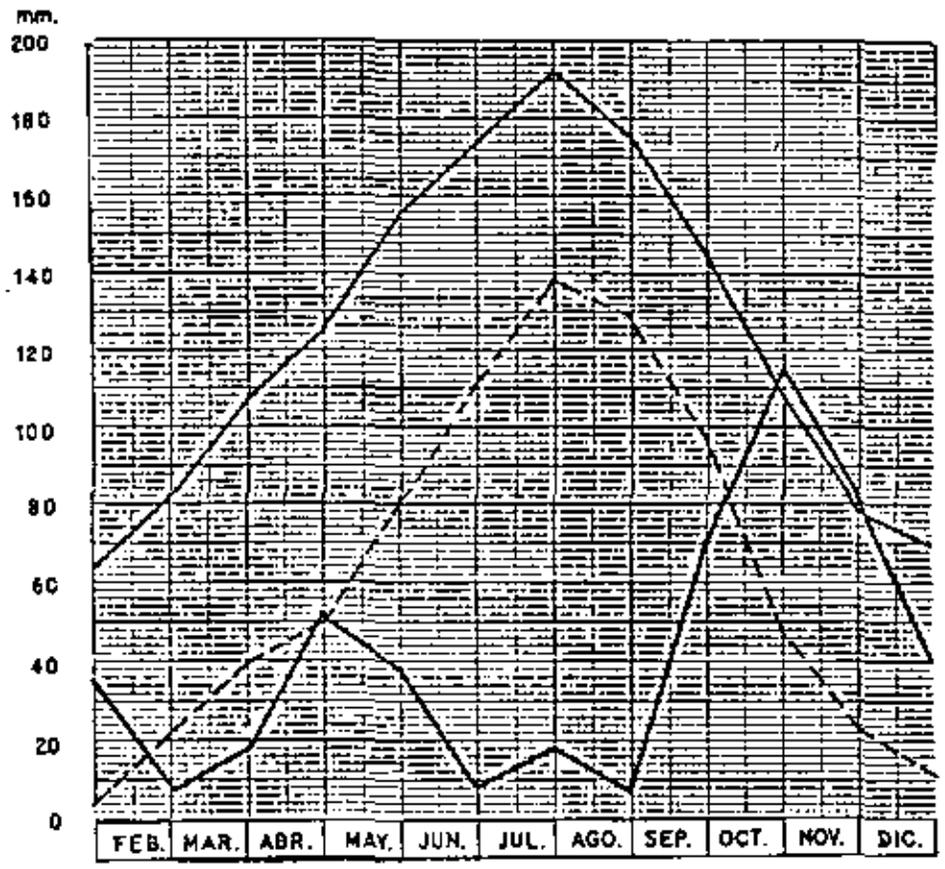
RIEGO POR ASPERSION

FINCA..... EL ENCIN.....
CULTIVO..... PATATAS.....
AÑO .1.961...

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



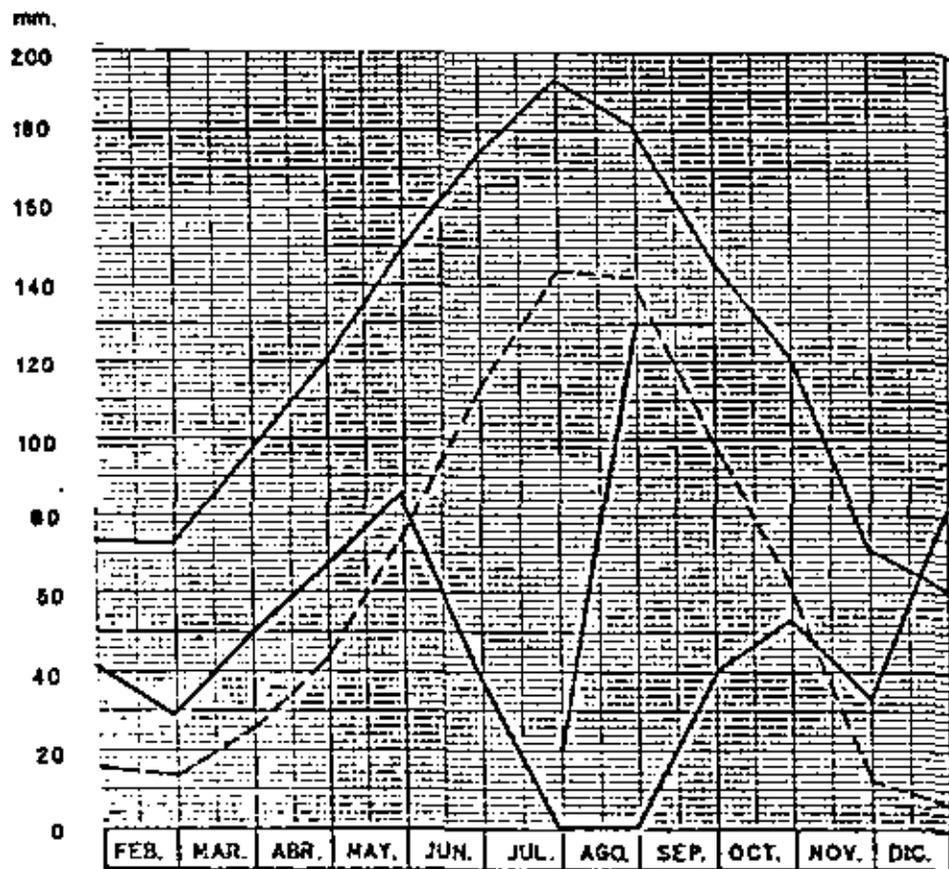
RIEGO DE PIF



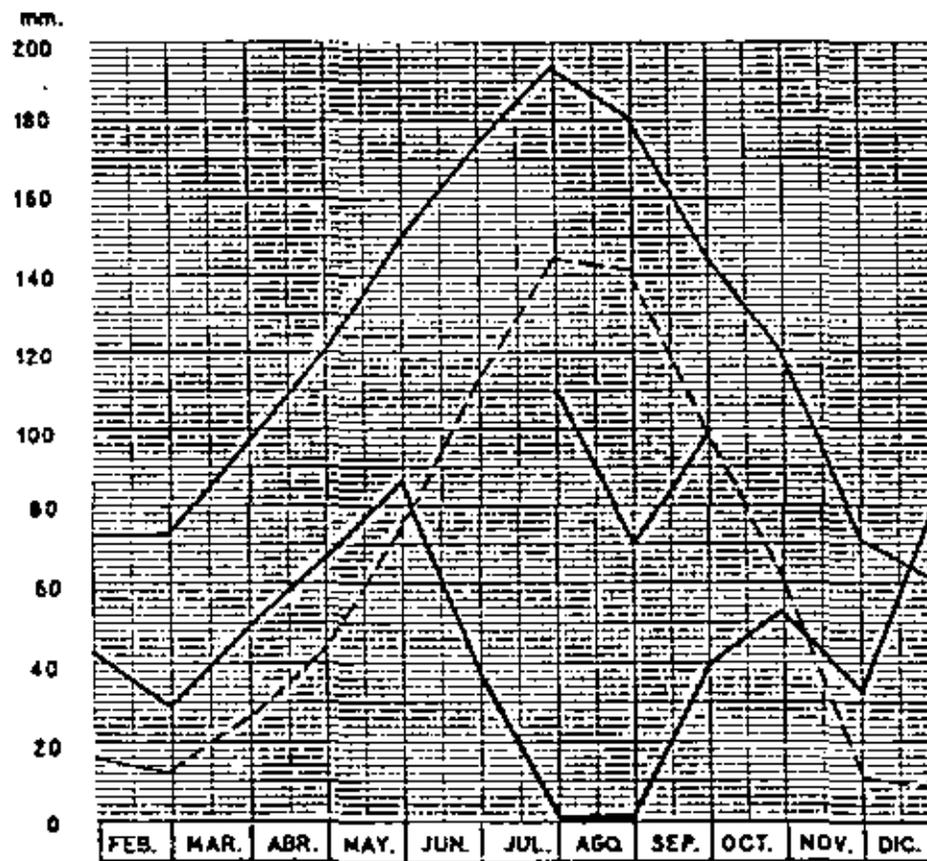
RIEGO POR ASPERSION

FINCA.....EL ENCIN.....
 CULTIVO.....PATATAS.....
 AÑO ..1.982..

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



RIEGO DE PIE

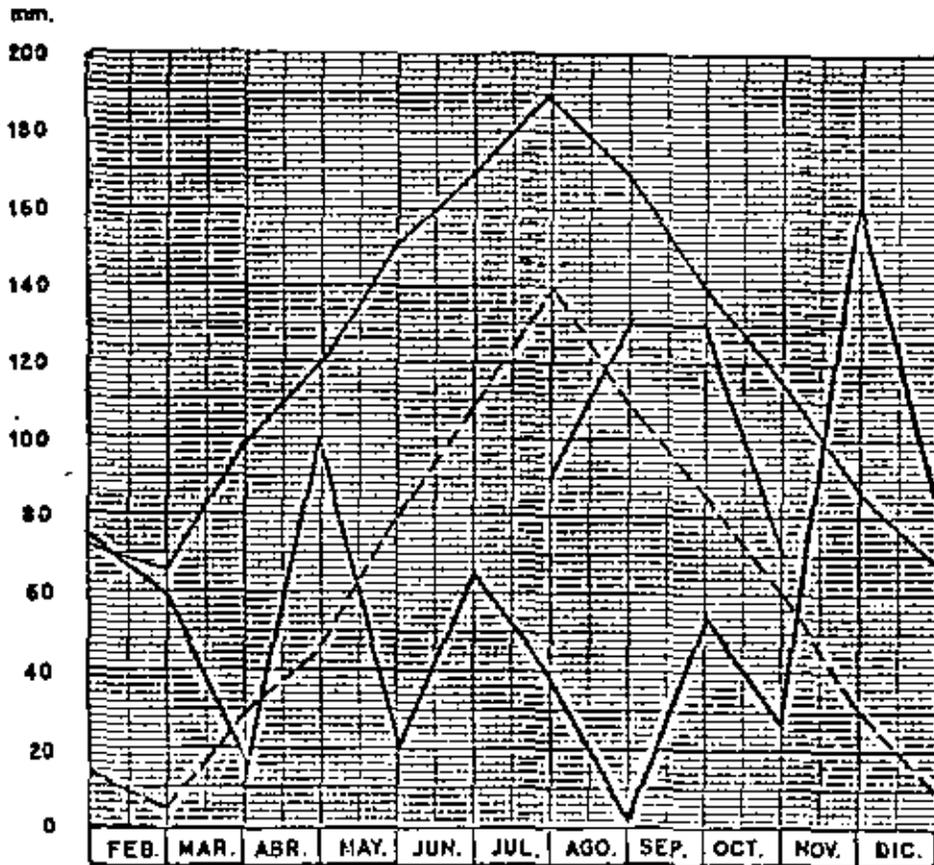


RIEGO POR ASPERSION

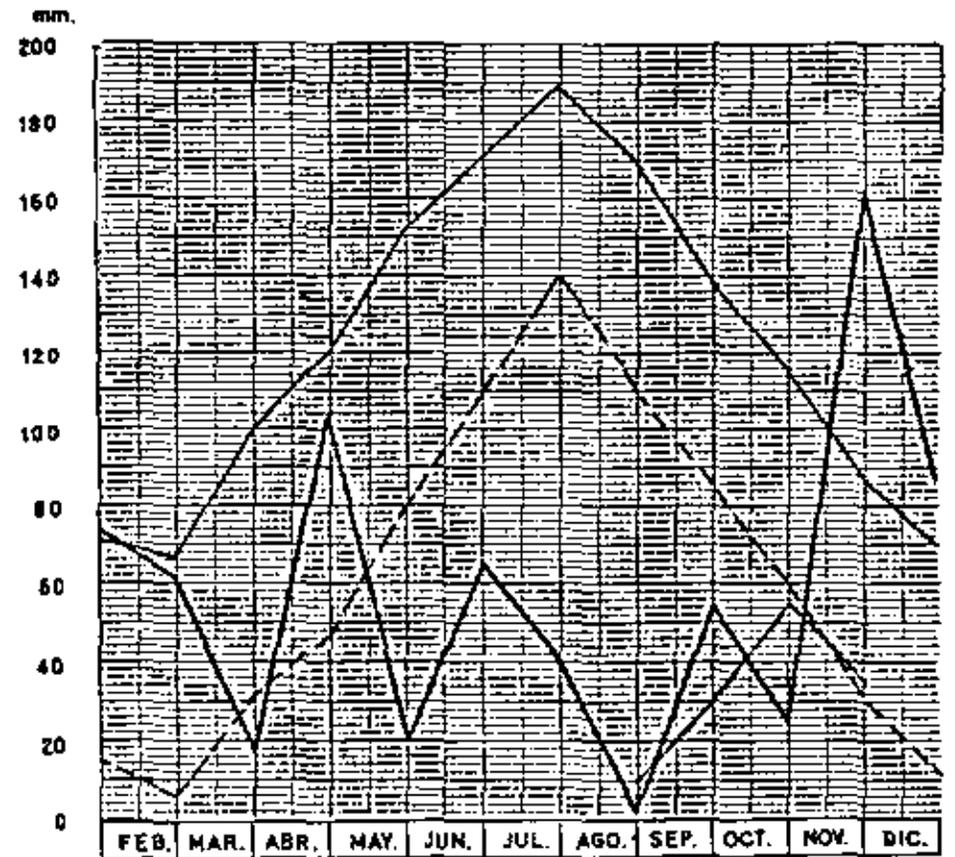
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperaturas medias													
Pluometría													
Consumos utilizando fórmula de Thornthwaite													
Consumos utilizando fórmula de Blaney-Griddle (con "x")													
Consumos utilizando sistema riego por superficie, rendimiento 85%								100	300	600	250		1.250
Consumos reales con rendimiento 100%								85	255	457	227		1.185
Consumos utilizando sistema riego de pie o aspersión							606	1300	1300	780			4.390
Pérdidas por infiltración y evaporación								1275	1045	233			
Rendimiento sistema riego de pie o aspersión								0,06	0,80	0,67			
Coefficiente corrector de la fórmula Thornthwaite, Blaney-Griddle								0,07; 0,08	0,37; 0,20	0,81; 0,43	1,53; 0,54		
Aspersiones e inundaciones vegetativas													
Mora de mayor desarrollo y paradas o estado vegetativo													
Fórmula de abono utilizada													
On de producción por ha obtenidos													
On por m ² /ha de agua consumida													
Fecha de siembra													
Fecha de cosecha													

FINCA..... EL ENCIN.....
 CULTIVO..... PATATAS.....
 AÑO ..1.963..

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



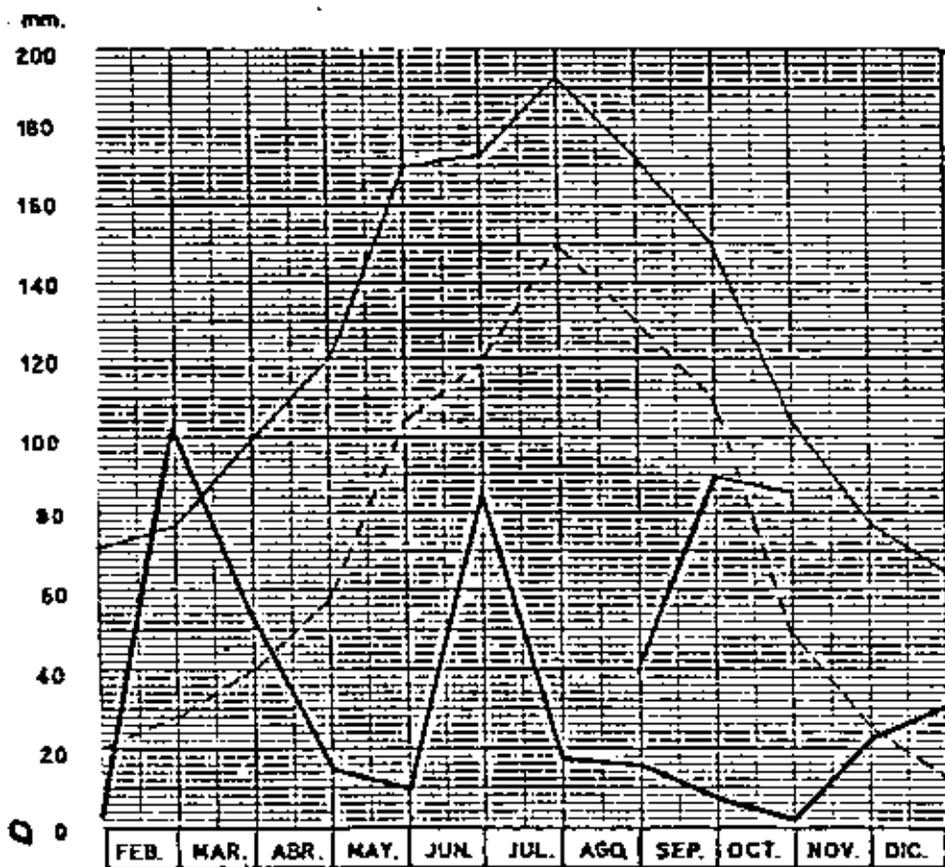
RIEGO DE PIE



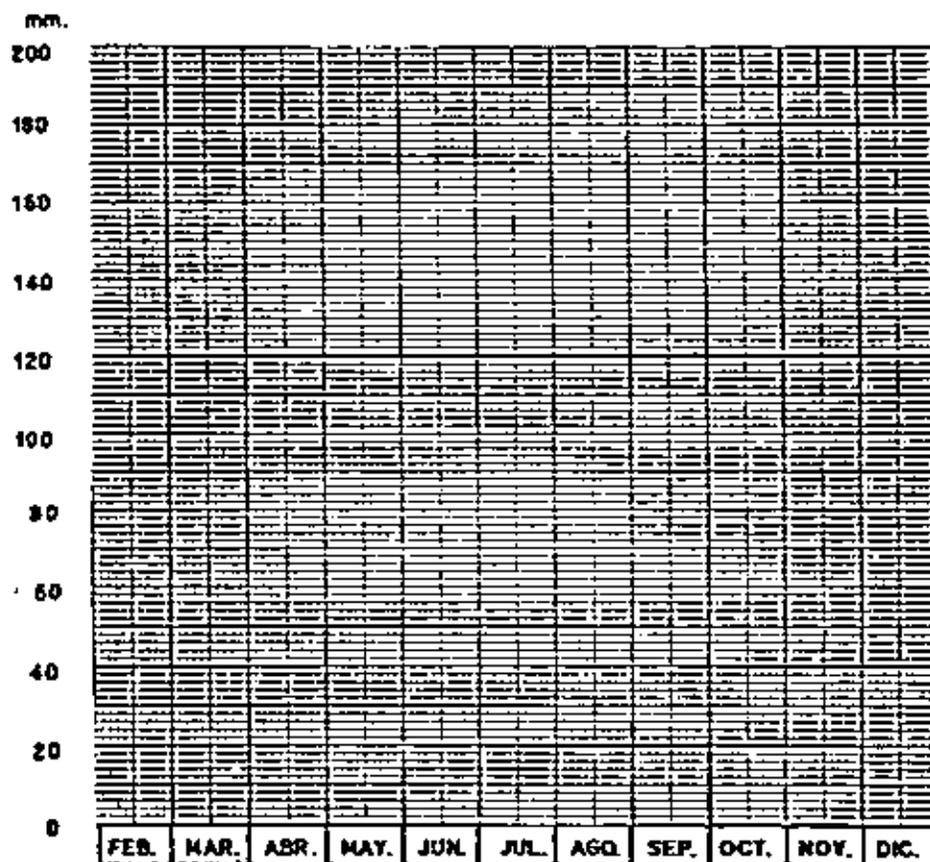
RIEGO POR ASPERSION

FINCA.....EL ENCIN.....
 CULTIVO....PATATAS.....
 AÑO .1.984...

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



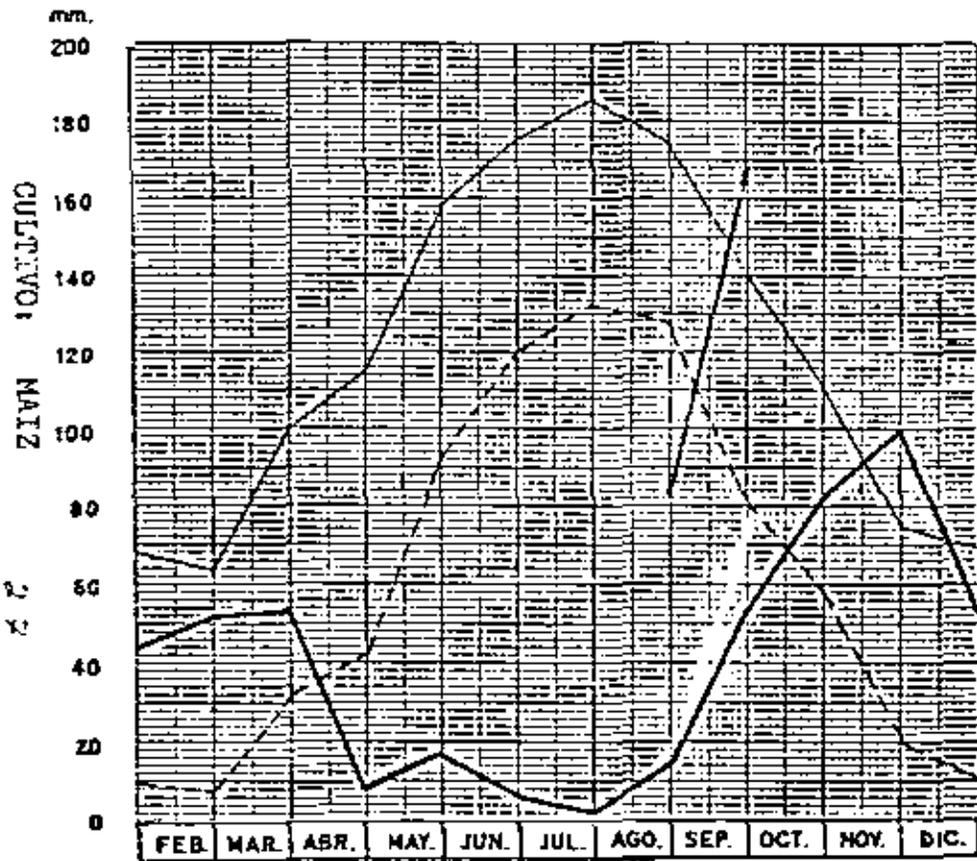
RIEGO DE PIE



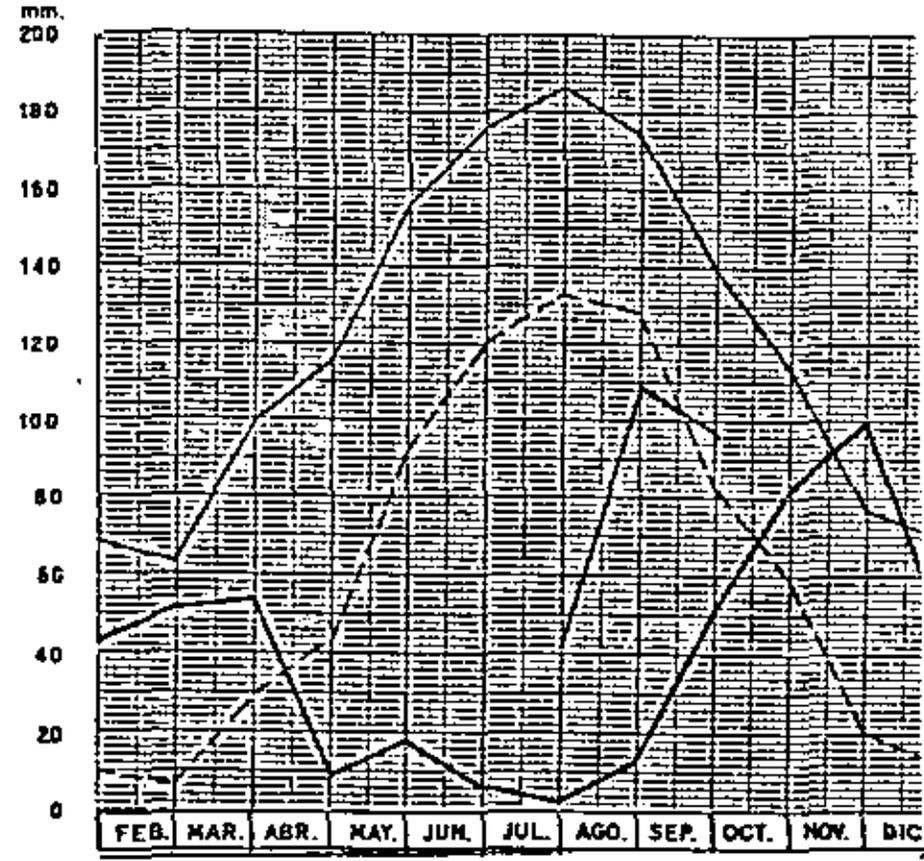
RIEGO POR ASPERSION

FINCA..... EL ENCIN.....
 CULTIVO..... PATATAS.....
 AÑO... 1.965..

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



RIEGO DE PIE



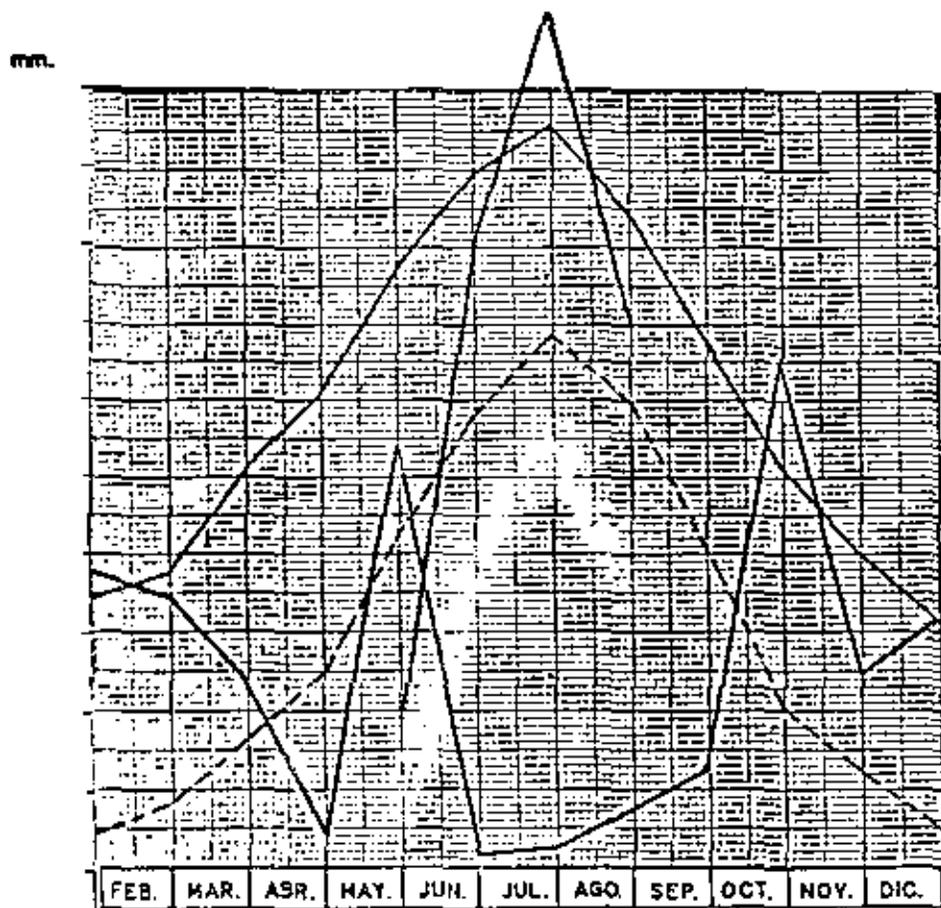
RIEGO POR ASPERSION

FINCA.....EL ENGIN.....

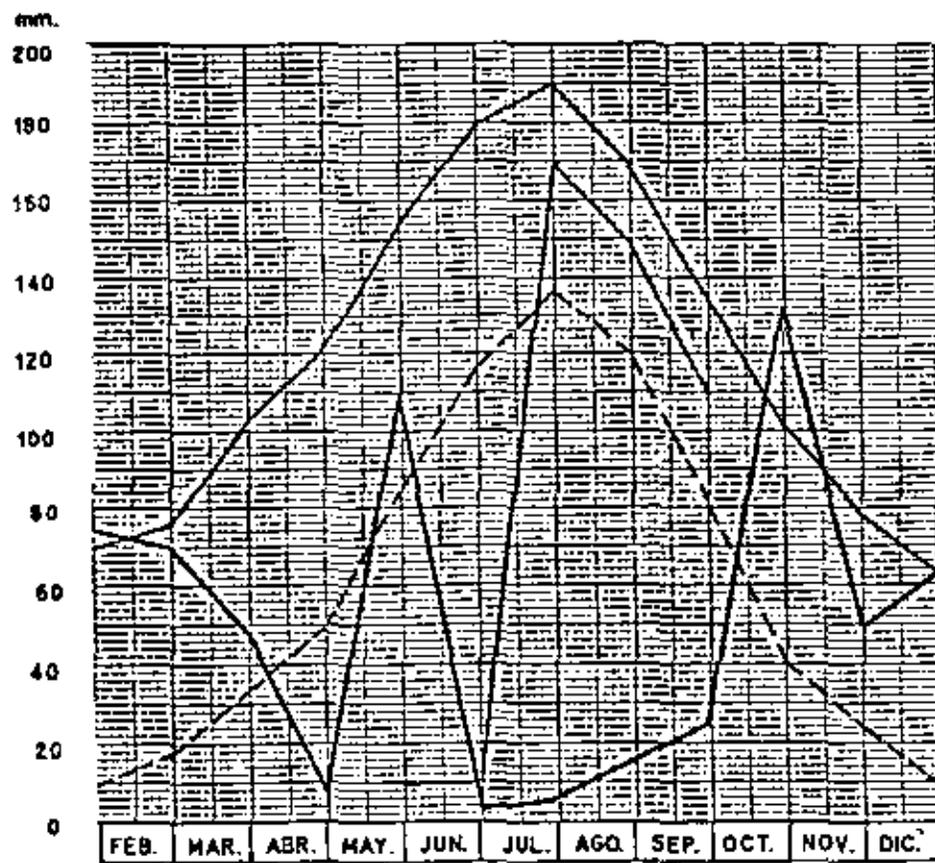
CULTIVO.....MALZ.....

AÑO ..1.980..

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



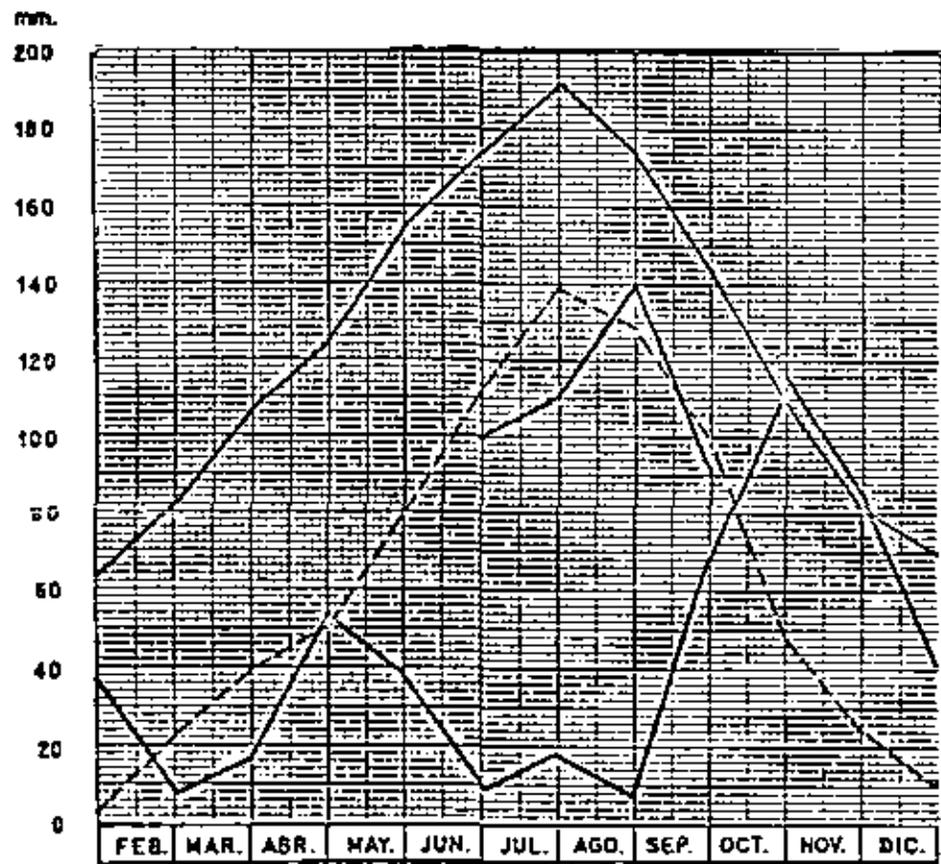
RIEGO DE PIE



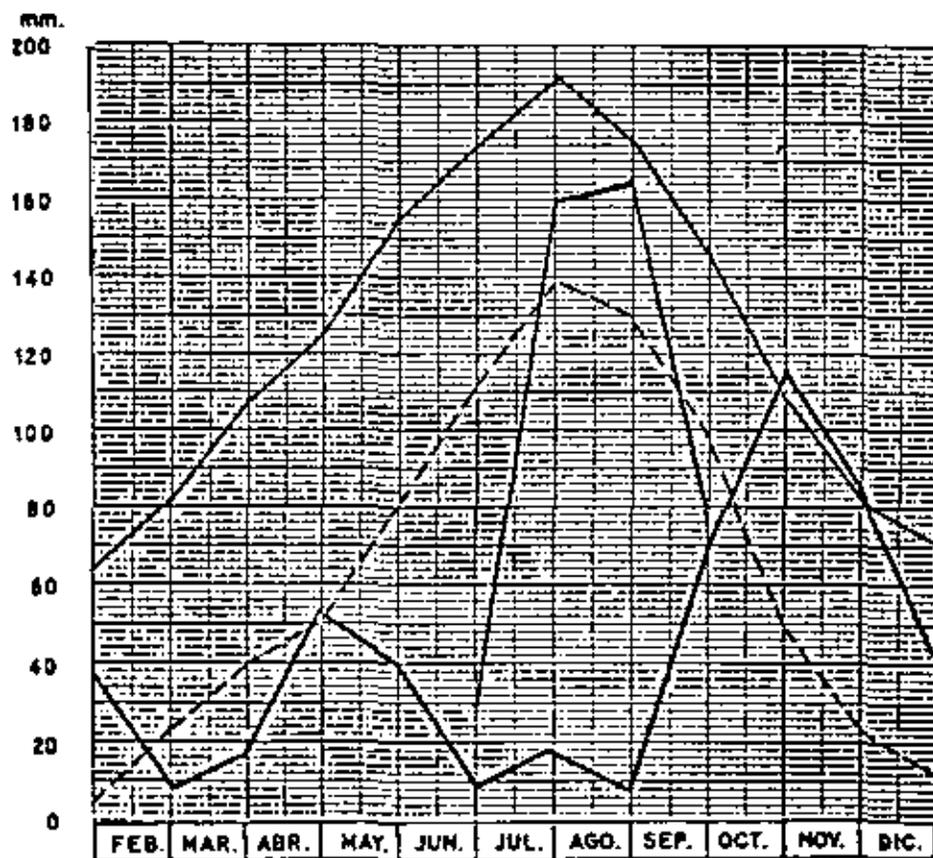
RIEGO POR ASPERSION

FINCA.....EL ENCIN.....
 CULTIVO.....MAIZ.....
 AÑO ..1961..

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



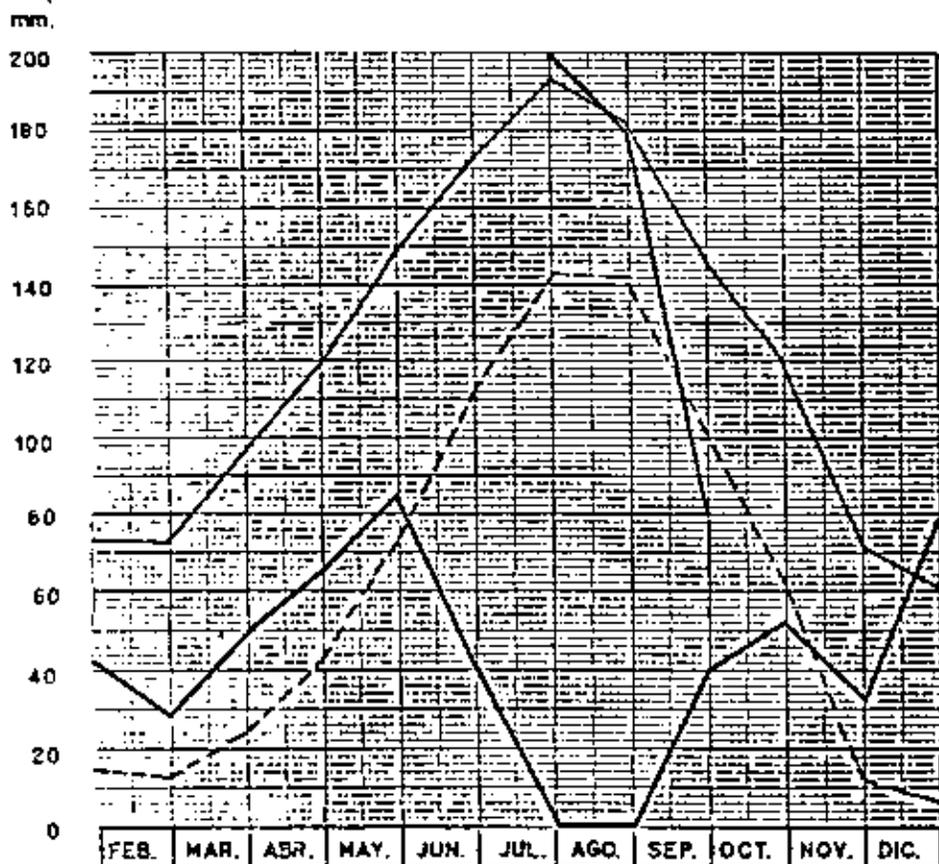
RIEGO DE PIE



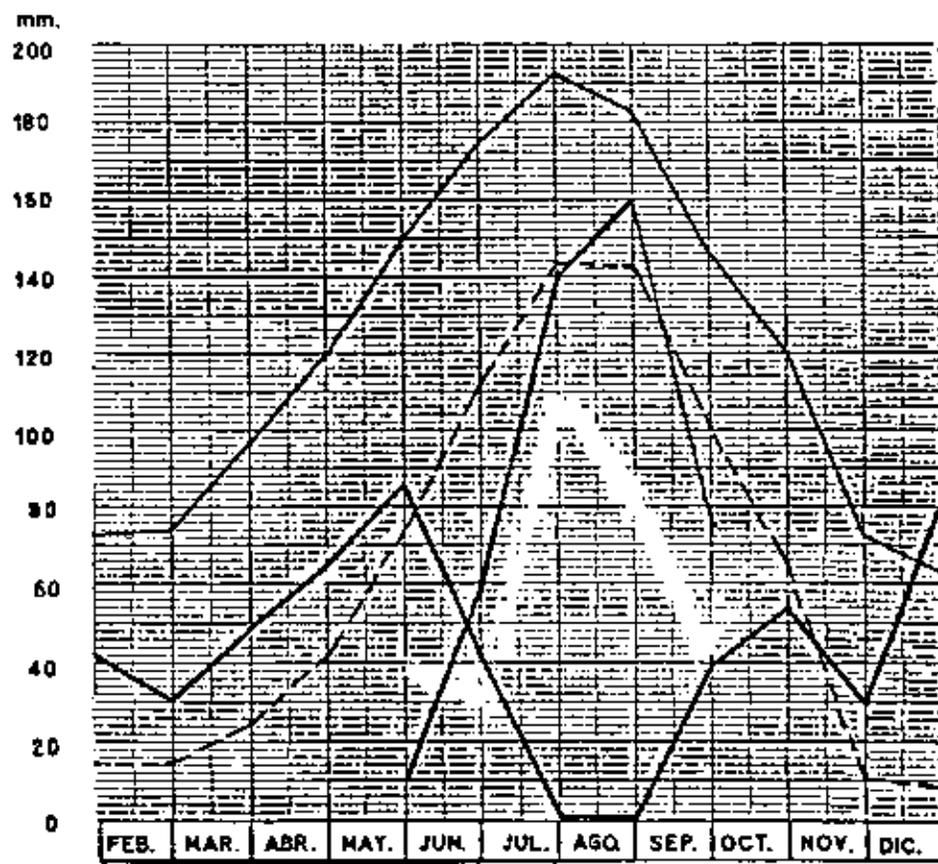
RIEGO POR ASPERSION

FINCA.....EL ENCIN.....
 CULTIVO.....MAIZ.....
 AÑO ..1.962..

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



RIEGO DE PIF



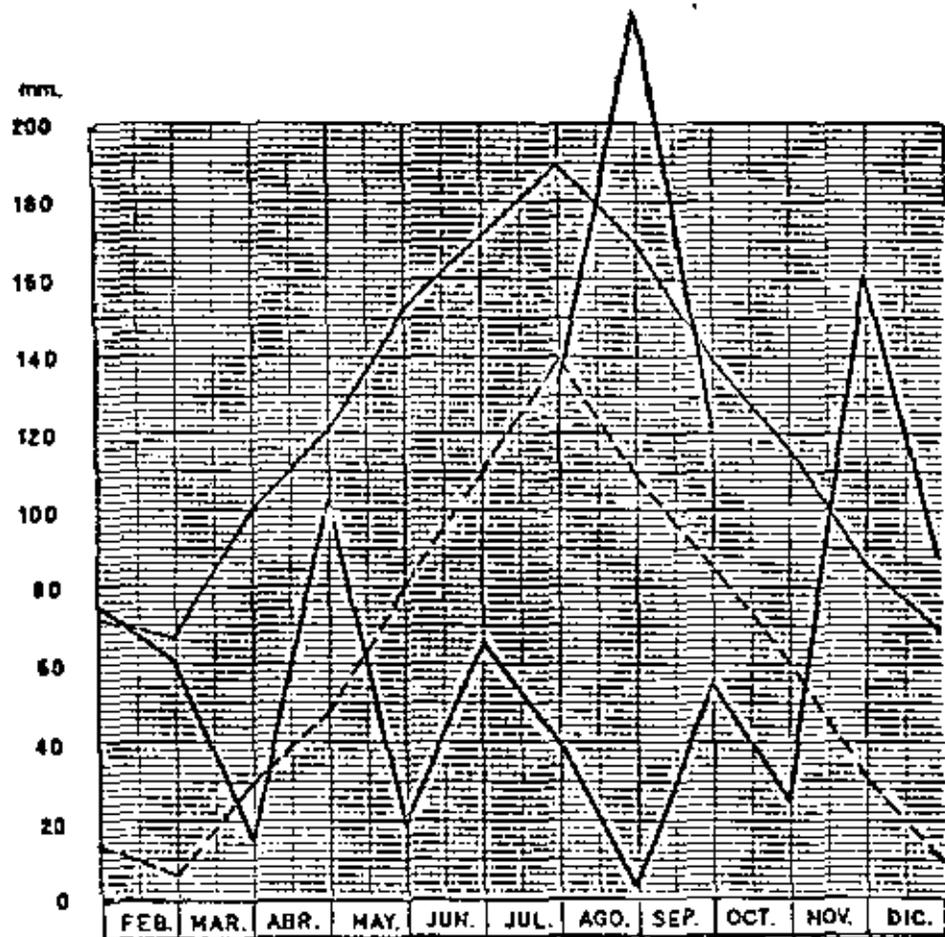
RIEGO POR ASPERSION

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperatura media	6,8	3,7	8,8	13,4	16,5	18,8	22,7	21,2	17,9	14,7	9,9	4,7	
Precipitación	73,7	61,0	12,7	103,4	17,2	60,6	37,4	0	55,1	20,4	100,4	81,2	606,7
Consumos utilizando fórmula de Thornthwaite	12,80	7,47	30,9	48,62	81,64	108,76	140,97	120,38	84,24	50,48	29,88	9,72	
Consumos utilizando fórmula de Blaney-Criddle (con K=1)	71,22	65,78	101,02	119,81	152,27	169,88	189,69	169,72	126,92	116,05	84,77	67,18	
Consumos utilizando sistema carga por superficie, riego normal 85%					400	300	200	800	400				3.000
Cantidades reales con riego normal 100%					340	253	235	890	340				2.650
Consumos utilizando sistema carga de peso 85%							1240	1300	1200				4.840
Pérdidas por infiltración y evaporación							404	1620	360				
Rendimiento actual (carga de peso 85%)							0,70	0,28	0,28				
Coefficiente de riego de la fórmula Thornthwaite, Blaney-Criddle					0,82;0,34;0,25;0,34	0,93;0,69	0,56;0,44	0,07;0,66					
Alimentación + crecimiento vegetativo													
Índice de mayor demanda y periodo de estado vegetativo													
Fórmula de Thornthwaite utilizada	400 super., 400 nitrofosf. amoníaco cálcico, 20 cloruro potásico, 20												
	400 super., 400 nitrofosf. amoníaco cálcico, 20 cloruro potásico, 20												
	84 super.												
	84 superación												
Con. de producción por Ha. sembrada	0,013 pie												
Con. por m ² /Ha de agua consumida	0,022 superación												
Fecha de siembra	2 mayo pie												
	8 mayo superación												
Fecha de cosecha													

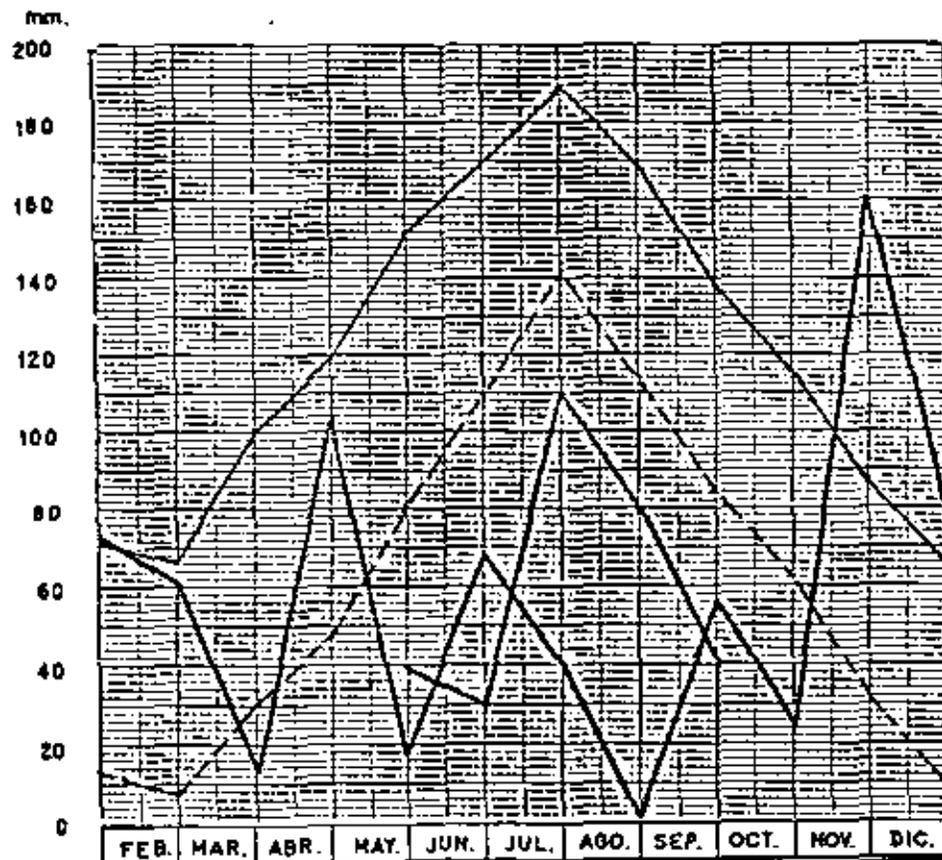
K.C.

FINCA..... EL ENCIN.....
 CULTIVO..... MAIZ.....
 AÑO .. 1,963..

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



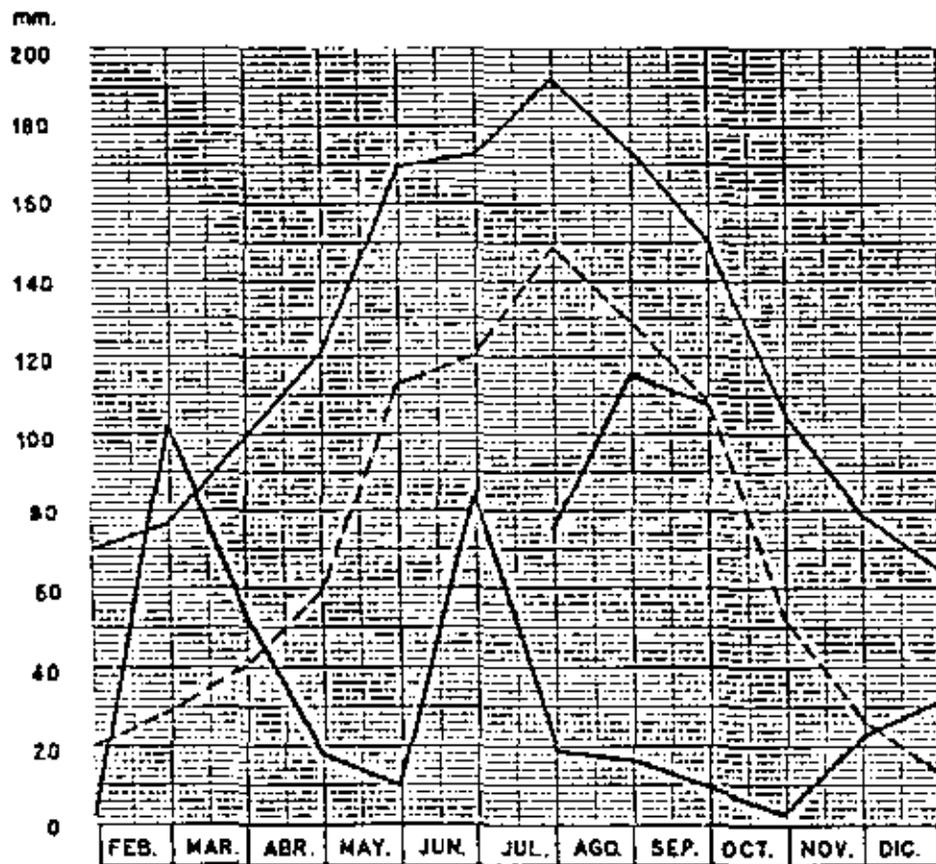
RIEGO DE PIE



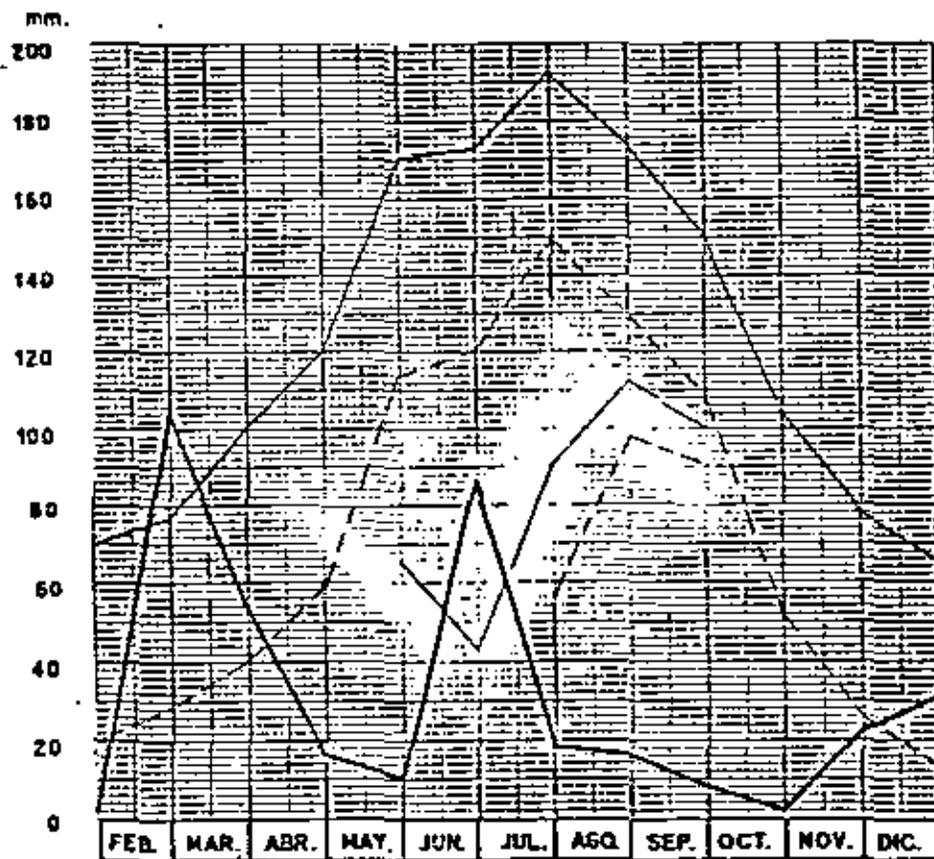
RIEGO POR ASPERSION

FINCA..... EL ENCIN.....
 CULTIVO..... MAIZ.....
 AÑO...1.984...

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



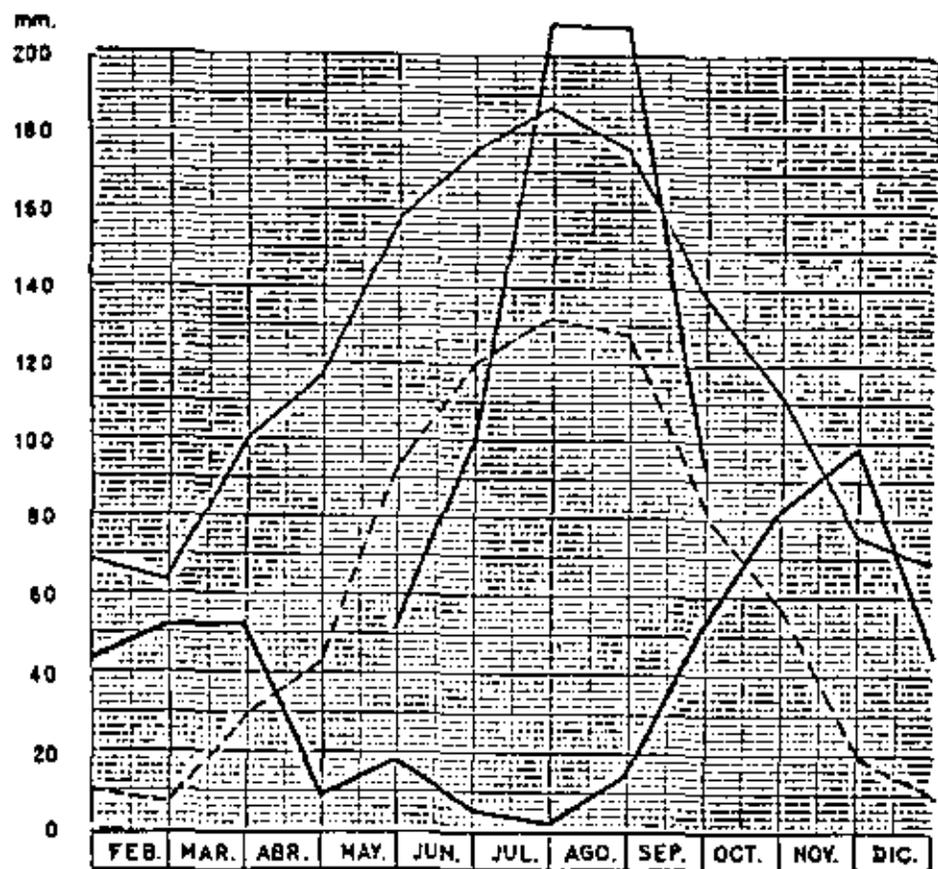
RIEGO DE PIE



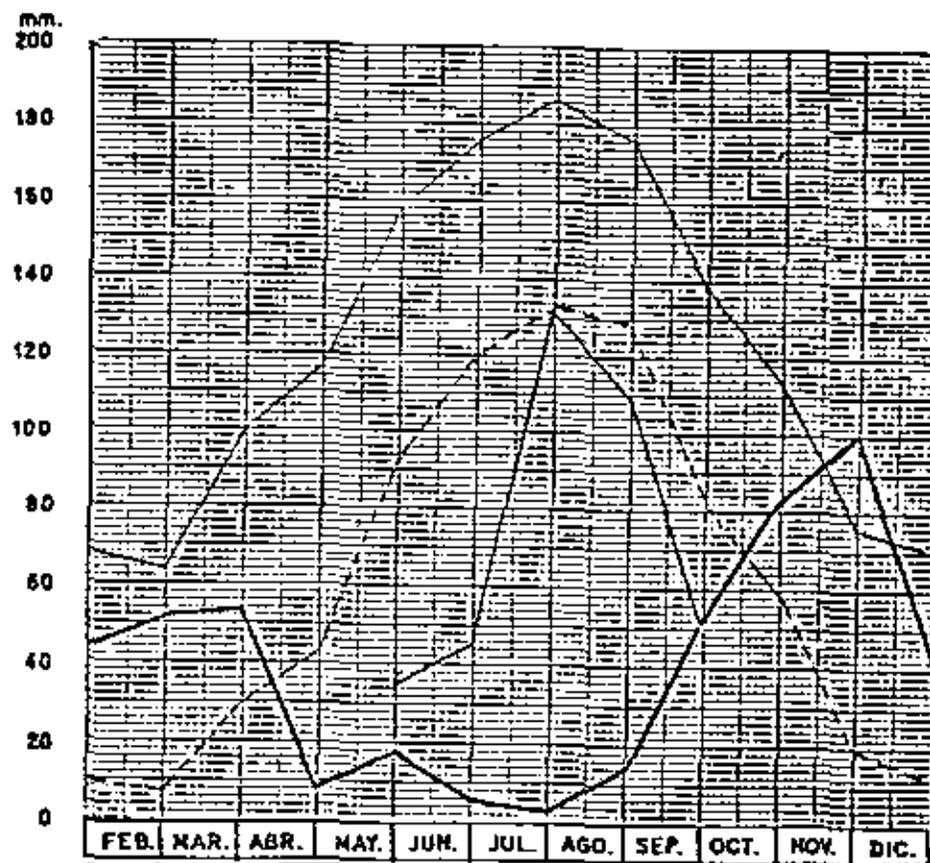
RIEGO POR ASPERSION

FINCA.....EL ENCIN.....
 CULTIVO.....MAIZ.....
 AÑO ..1,985..

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



RIEGO DE PIE

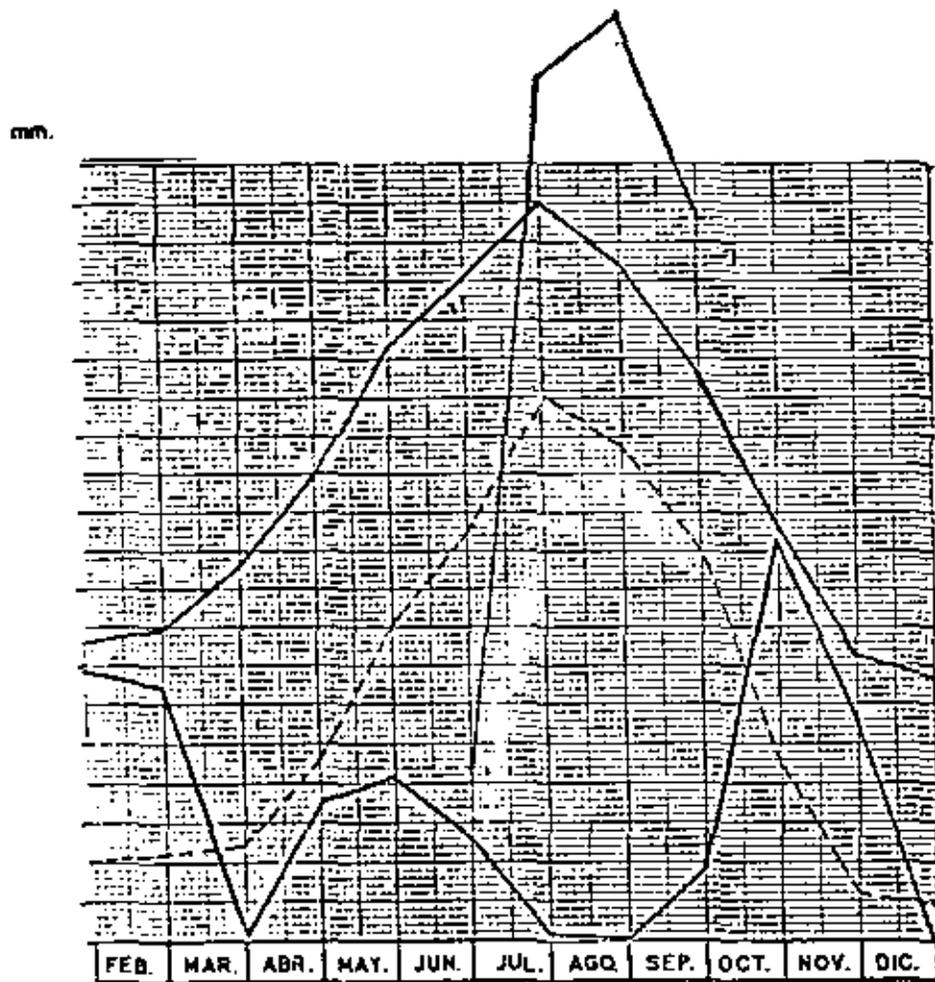


RIEGO POR ASPERSION

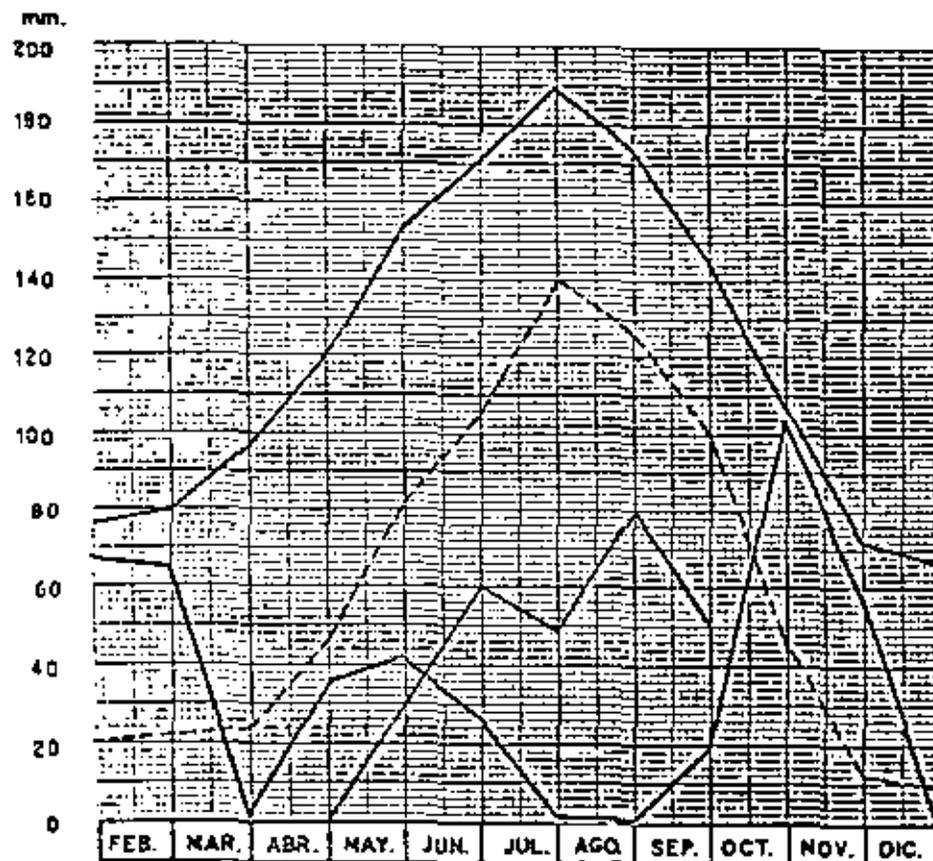
FINCA.....EL ENCIN.....
 CULTIVO.....MAIZ.....
 AÑO ..1.966..

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES

CULTIVO:
FABAS
7.2



RIEGO DE PIE



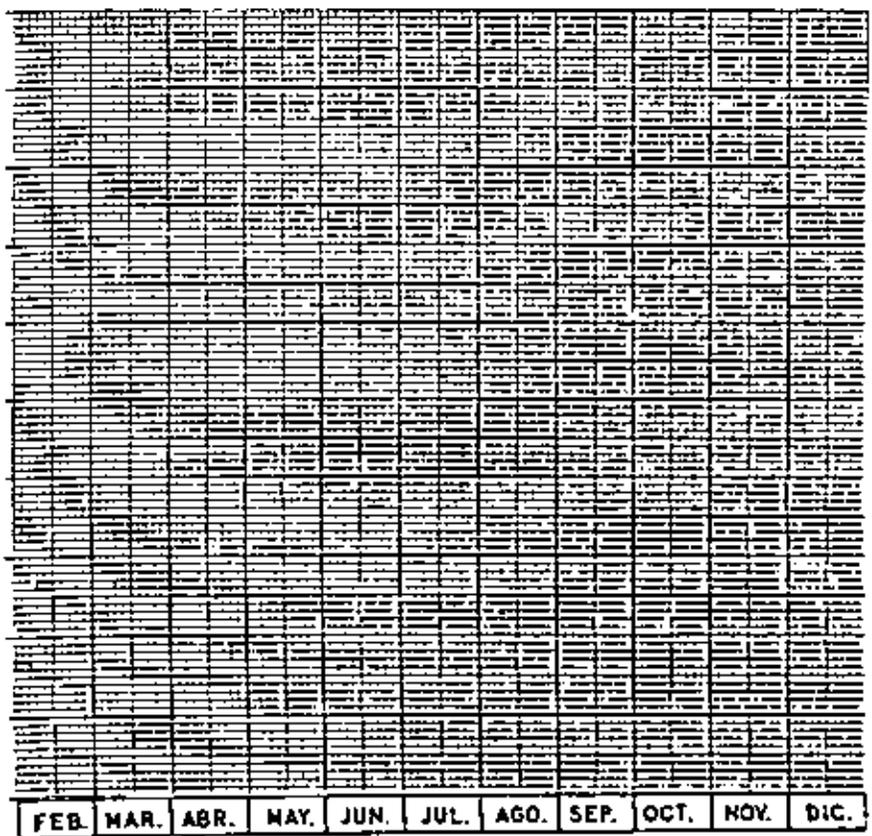
RIEGO POR ASPERSION

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperatura media													
Pluometria													
Consumo utilizado (órdenes de Fertilizante)													
Consumo utilizado (órdenes de Selenio-Crédito uso 4-1)													
Consumo utilizado sistema riego por aspersión, rendimiento 82%				40	380	800	100						1.300
Consumo riego con rendimiento 100%				34	305	620	120						1.079
Consumo utilizado sistema riego de pie a escorrentía			81,0	870	2094								3.045
Pérdida por infiltración y evaporación				828	1868								
Rendimiento sistema riego de pie a escorrentía				0,35	1,18								
Condiciónes parciales de la Máquina Tractorada, Selenio-Crédito				1,18	0,260	42,423	1,18	0,22	0,30	0,22			
Aplicación e instrucciones vegetativas													
Med de mayor desarrollo y período a estado vegetativo													
Pérdida de cosecha utilizada													
Daño de producción por las enfermedades	12,25	separación											
Daño por el 7% de agua consumida	24,00	pie											
Daño por el 7% de agua consumida	0,0080	pie											
Daño por el 7% de agua consumida	0,0088	separación											
Fecha de siembra	8 May	separación											
Fecha de siembra	22 Nov	ambos y	21 Dic	ambos	pie								55
Fecha de recolección	4 y 14	Julio	separación										
Fecha de recolección	28 y 2	Julio	pie										

FINCA.....LA POVEDA.....
 CULTIVO.....REMOLACHA.....
 AÑO ...1.985.

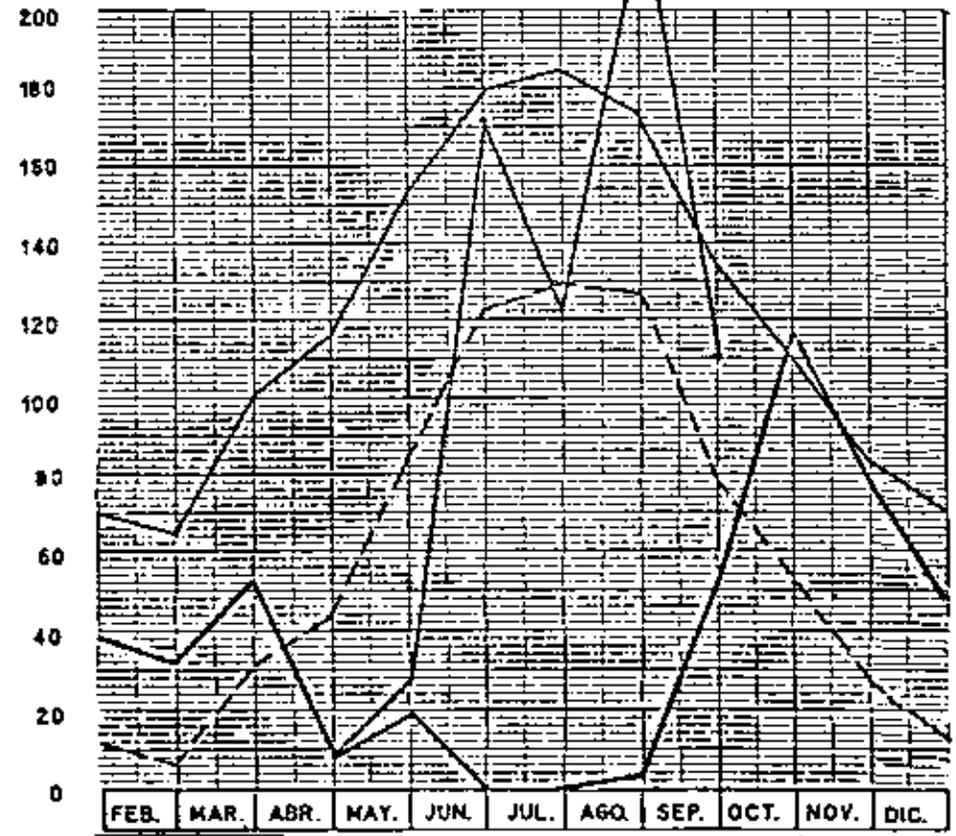
CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES

mm.



RIEGO DE PIE

mm.



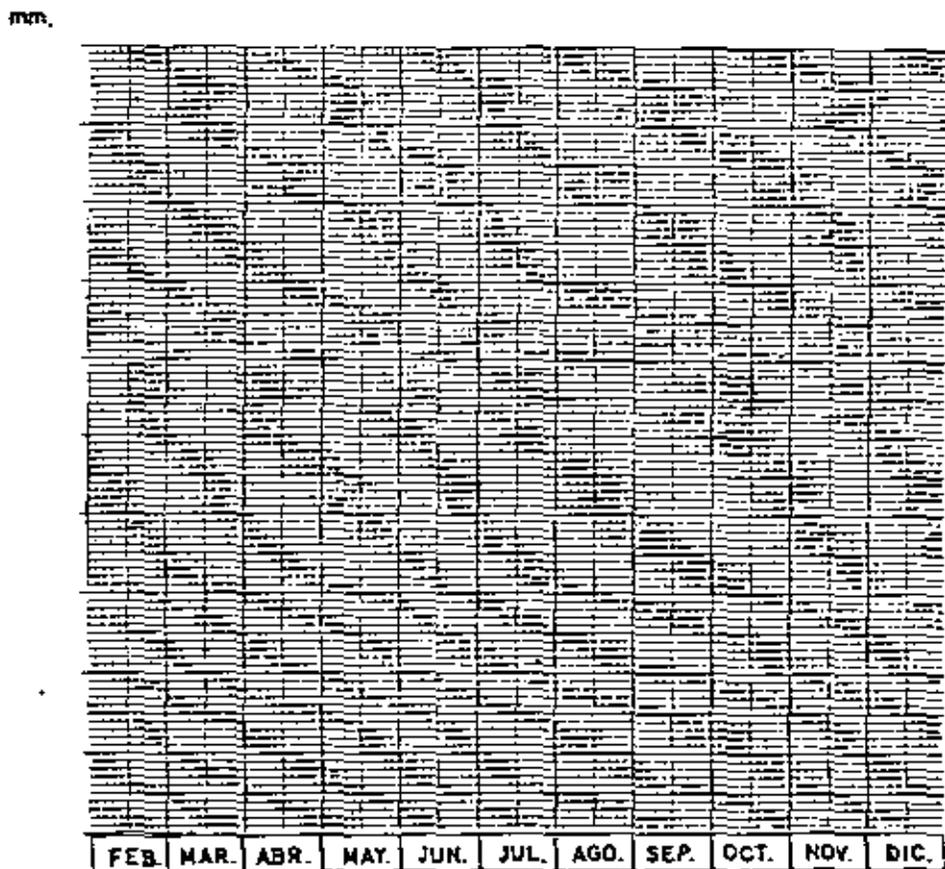
RIEGO POR ASPERSION

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL	
Temperatura media	8,1	8,2	8,2	12,1	16,8	19,3	22,8	22,4	20,2	19,0	8,1	4,4		
Pluviosidad	53,8	49,6	1,8	44,0	29,8	38,6	8,4	0,2	33,1	114,3	89,8	0,15		
Cosechas utilizando terreno de Trazado	22,86	22,41	21,81	49,95	68,50	100,75	140,97	127,40	90,72	48,96	14,94	8,72		
Cosechas utilizando terreno de Boney-Cruce con M-1	88,21	78,58	88,74	122,30	187,30	171,02	180,83	174,88	146,13	109,03	73,13	66,29		
Cosechas utilizando sistema riego por aspersión, riego 85%					122,3	1127,2	1020,2	1019,9	1000,7					5.270,5
Cosechas riego por riego 100%					112,4	958,2	1040,7	888,9	801,6					4.470,80
Cosechas utilizando sistema riego de pozo a riego 100%														
Pérdidas por evapotranspiración y respiración														
Rendimiento sistema riego de pozo a riego 100%														
Costos de cultivo de la remolacha Trazado, Boney-Cruce					0,480,20	1,20,0,773	12,0,0,00	0,00,0,00	1,27,0,54					
Asociación a cosechas registradas														
Mes de mayor demanda y estado o estado vegetativo														
Fuente de abonos utilizados	Super. 500, Aménito 150, Cloruro Potásico 100													
Qm de producción por Ha cosechada	119,30													
Qm por m ² /ha de agua consumida	0,041													
Fecha de siembra	17 Marzo													
Fecha de recolección	26 Noviembre													

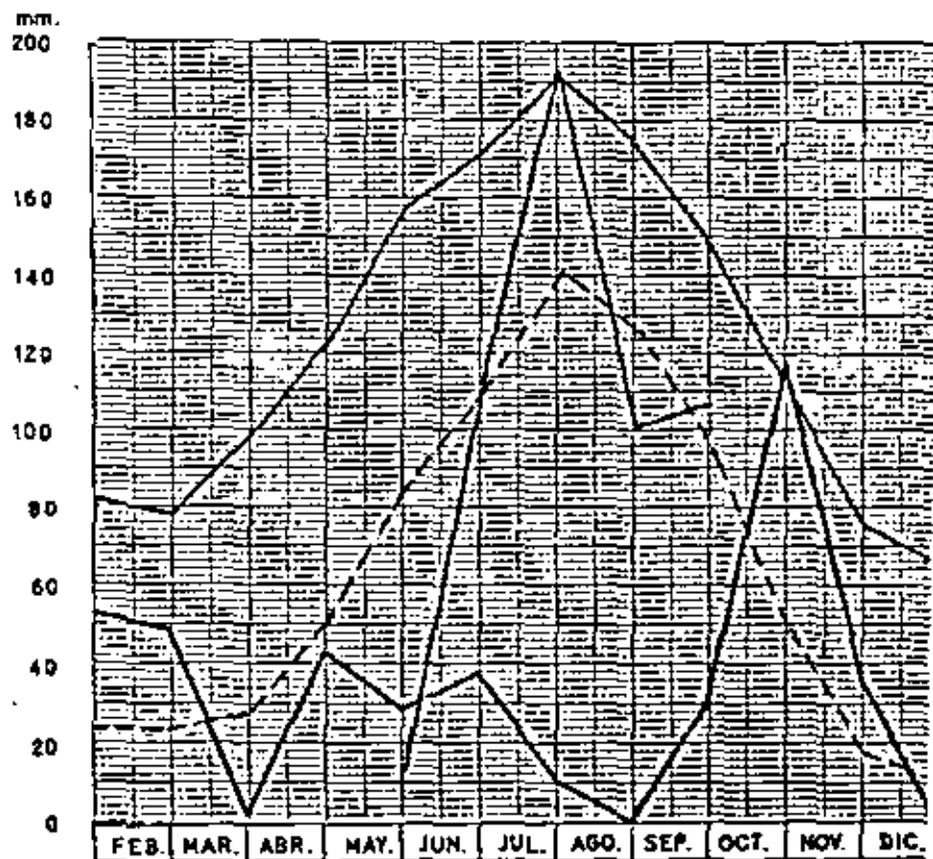
07

FINCA.....LA. POVEDA.....
 CULTIVO.....REMOLACHA.....
 AÑO 1.968.....

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



RIEGO DE PIE



RIEGO POR ASPERSION

M. PÉREZ DE SERRA, PABLO
CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS

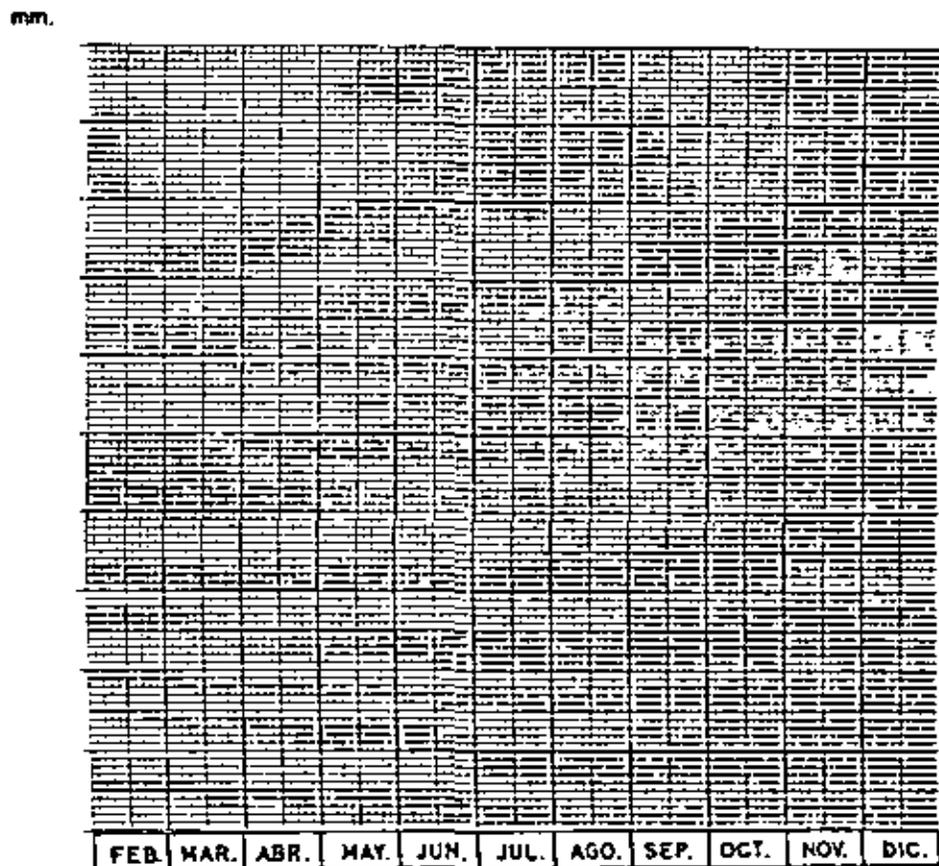
CULTIVO Remolacha Azucarera (L. Ford) AÑO 1967

PERIODO DE ENSAYO 1966-67

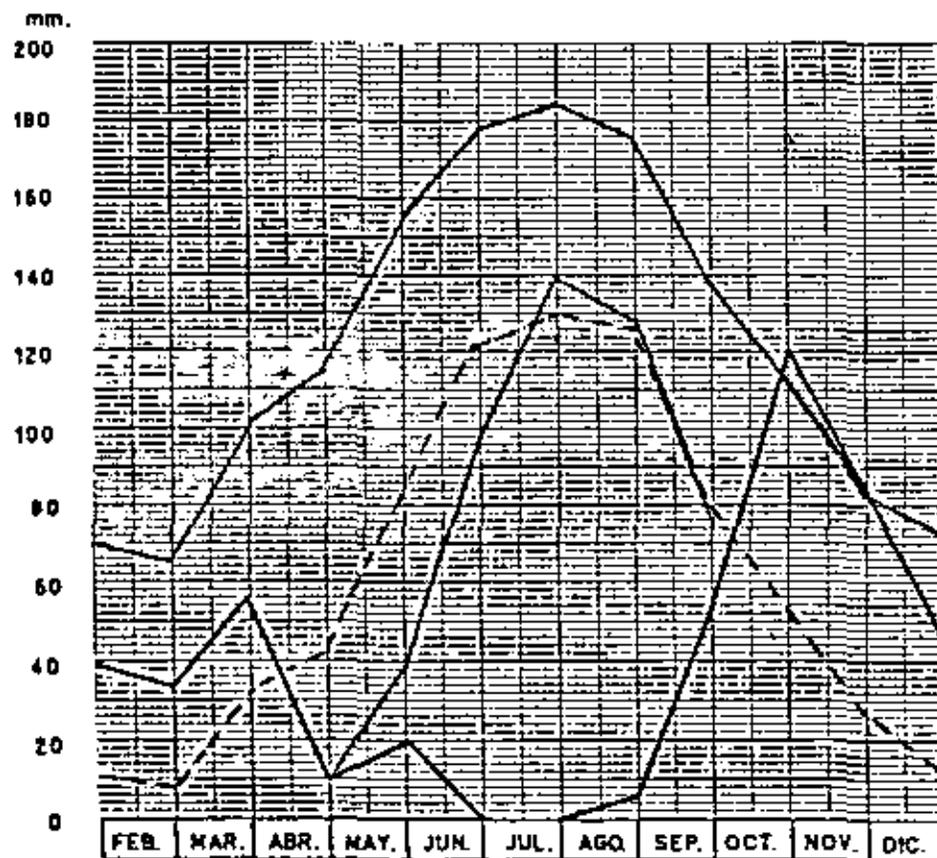
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperatura media	4,7	11,6	18,7	19,7	18,5	17,2	24,0	22,5	18,8	15,5	8,9	1,1	
Pluviómetro	30,6	0,0	19,2	56,0	35,0	17,4	0,6	0,5	4,4	72,8	42,9	2,6	211,00
Consumos utilizando fórmula de Thornthwaite	10,08	34,86	40,17	43,29	66,96	97,50	148,59	137,14	87,76	60,48	24,9	4,86	
Consumos utilizando fórmula de Blaney-Criddle con K=1	69,87	89,36	108,24	116,64	143,12	173,64	195,79	175,38	160,37	117,89	51,71	61,60	
Consumos utilizando sistema riego por aspersión, rendimiento 85 %			32,0	96,0	426,7	1359,6	2375,0	1407,7	1804,4				7221,4
Consumos reales con rendimiento 100 %			27,2	81,6	362,7	1164,2	2018,7	1294,5	1278,7				6139,6
Consumos utilizando sistema riego de goteo y escurrimiento													
Pérdidas por infiltración y evaporación													
Rendimiento sistema riego de goteo y escurrimiento													
Coefficiente corrector de la fórmula Thornthwaite, Blaney-Criddle			0,54 (R)	0,55	0,56 (S)	0,57 (L)	0,58	0,59 (S)	0,60 (R)				
Incrementos e incidencias vegetativas													
Mes de mayor demanda y período de estado vegetativo													
Fórmula de abono utilizada	Super 600, Azofosfo 100, Cloruro Potásico 110												
Oñ de producción por Ha. obtenida	142,12												
Oñ por m ² /Ha de agua consumida	0,047												
Fecha de siembra	7 de marzo												
Fecha de cosecha	22 de diciembre												

FINCA.....LA POVEDA.....
 CULTIVO.....MAIZ.....
 AÑO 1.965.....

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



RIEGO DE PIE



RIEGO POR ASPERSION

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRAFICOS

CULTIVO MAIZ (La Poveda) AÑO 1967

PERIODO DE ENSAYO 1965-67

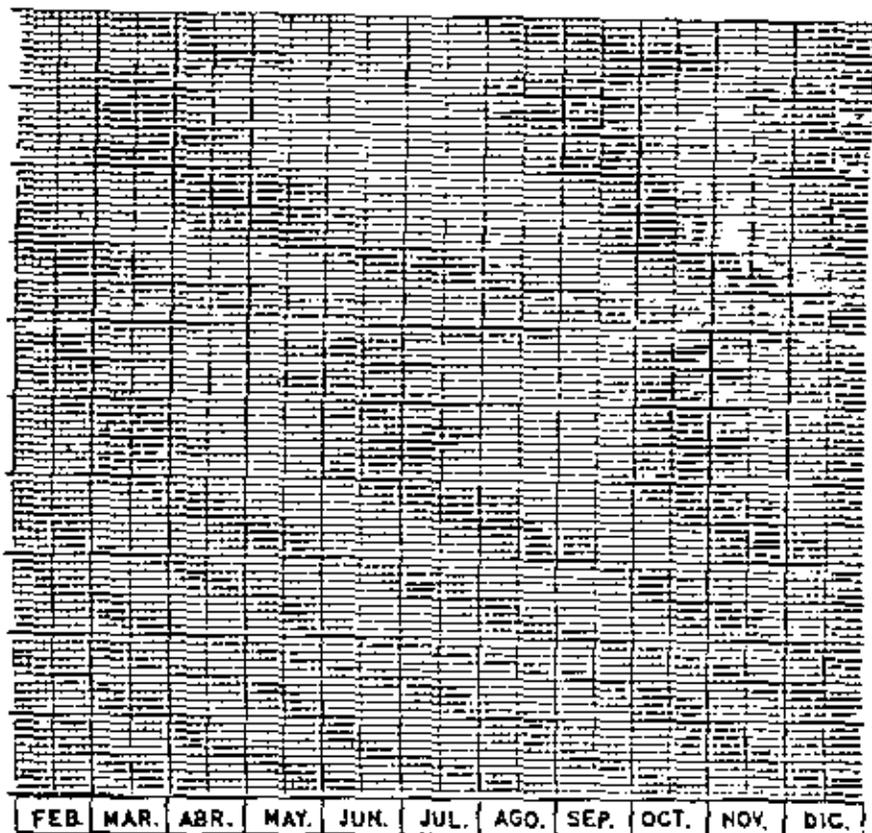
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperatura media	4,7	11,1	20,7	10,7	13,5	17,7	24,0	22,5	18,9	15,5	8,9	3,1	
Pluviosidad	30,6	0,0	19,2	56,0	35,0	17,4	0,5	0,5	4,4	22,3	42,9	2,6	272,00
Consumos utilizando fórmula de Thornthwaite	10,08	34,86	20,17	43,29	66,96	97,50	148,70	127,44	87,30	60,48	21,0	4,86	
Consumos utilizando fórmula de Blaney-Griggs con K.I.	69,57	89,36	108,24	116,54	143,22	173,64	195,79	175,38	140,37	82,72	62,00		
Consumos utilizando sistema riego por aspersión, rendimiento 85 %					52,0	64,8	93,9	162,7	160,7				423,1
Consumos reales con rendimiento 100 %					44,2	54,7	79,5	173,3	170,4				425,1
Consumos utilizando sistema riego de 80 a 85% de rendimiento													
Pérdidas por infiltración y evaporación													
Rendimiento sistema riego de 80 a 85% de rendimiento													
Definición detallada de la fórmula Thornthwaite, Blaney-Griggs					0,59	0,27	0,76	0,13	0,41	0,08	0,78	1,64	1,02
Anormalidad o incidencias vegetativas													
Mes de mayor desarrollo y período máximo vegetativo													
Fertilizantes en cantidad utilizada													
Super	100												
Amo													
Porcentaje													
On de producción por ha sembrada	39,94												
On por m ² /ha de agua consumida	0,008												
Fecha de siembra	17 mayo												
Fecha de cosecha	2 noviembre												

82

FINCA.....LA POVEDA.....
 CULTIVO.....MAIZ.....
 AÑO ..1.967..

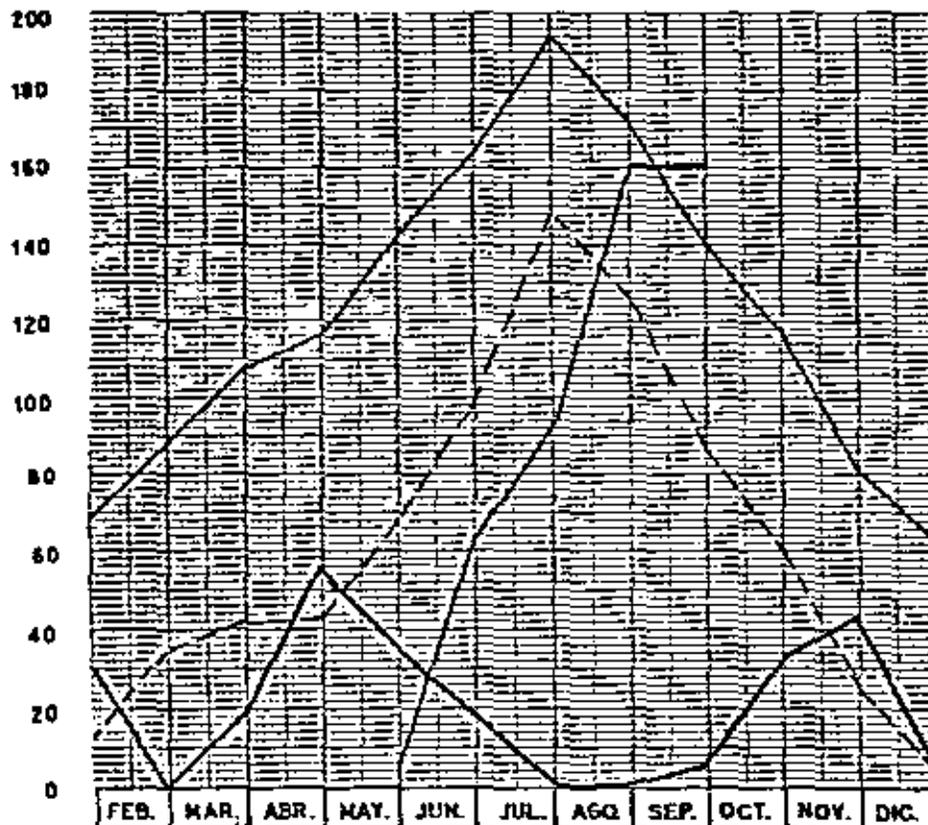
CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES

mm.



RIEGO DE PIE

mm.

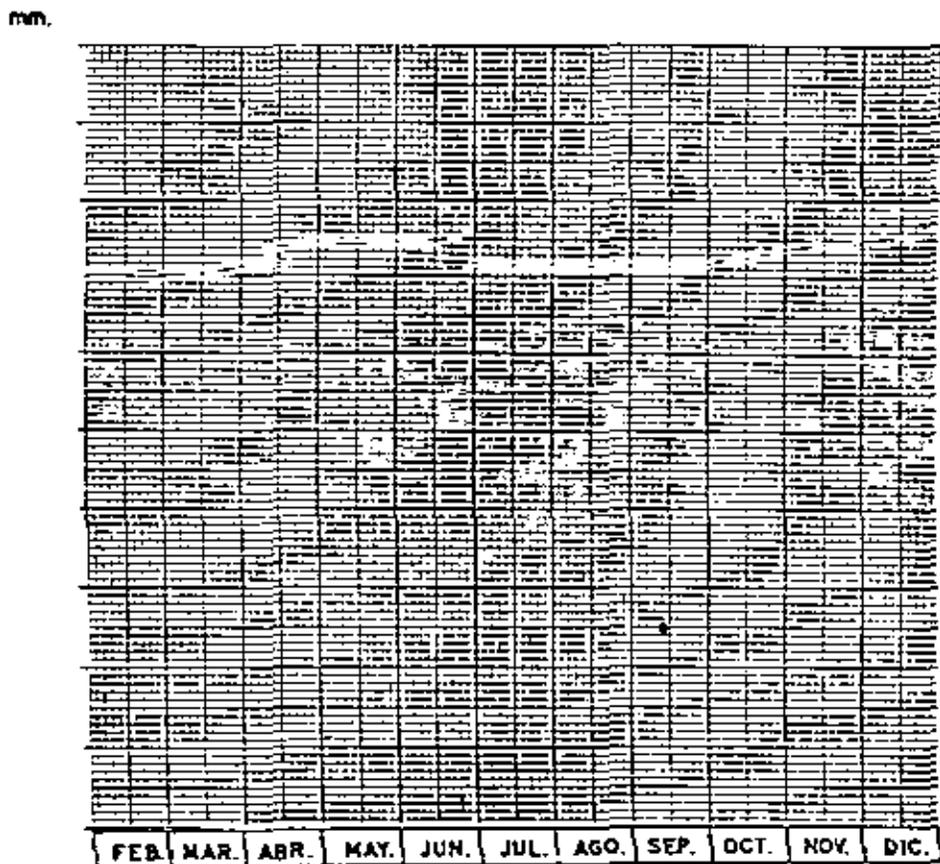


RIEGO POR ASPERSION

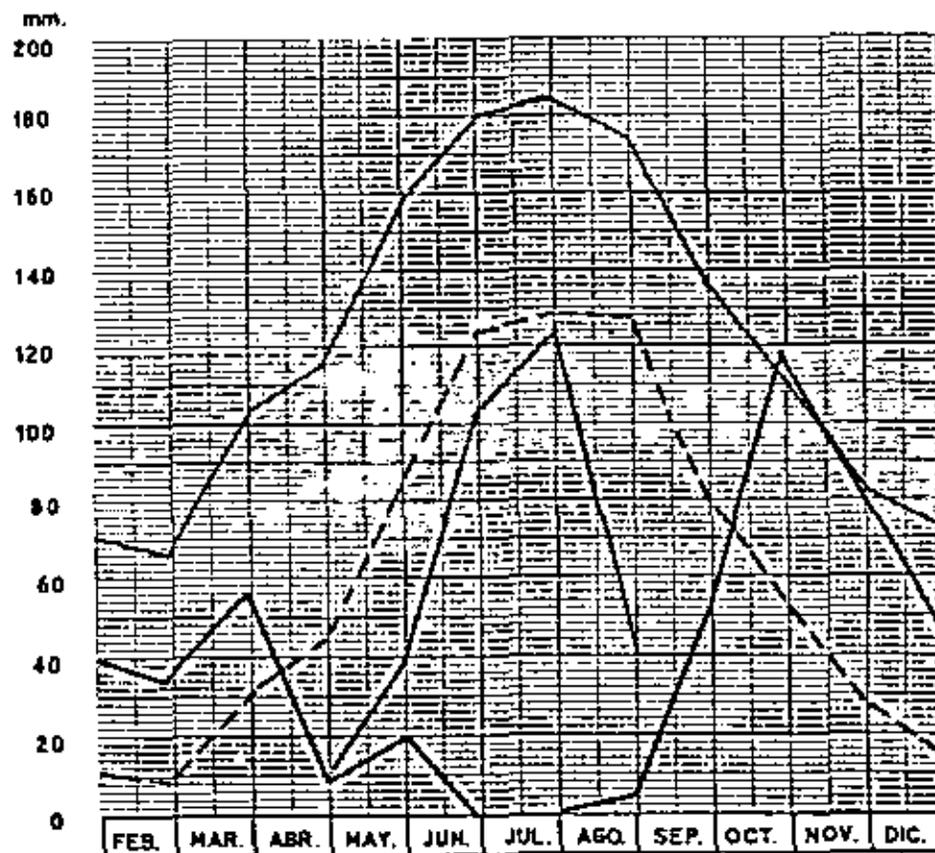
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperaturas medias	4,8	3,5	8,7	10,5	15,8	20,9	21,6	22,6	17,5	15,6	8,4	5,7	
Humedad	37,3	32,9	55,8	6,3	18,6	0,0	0,0	2,3	50,6	117,1	78,9	42,5	462,30
Consumo utilizando fórmula de Thornthwaite	17,08	7,47	80,90	43,29	85,56	123,75	129,54	127,44	78,00	51,84	24,9	12,15	
Cálculo utilizando fórmula de Blaney-Griggs con 8.1	69,98	65,67	100,64	114,94	153,64	178,40	184,54	175,82	135,38	111,13	80,18	70,17	
Consumo utilizando sistema 1000 por evaporación, rendimiento 85%					359,1	1028,9	1218,3	416,1					3052,4
Cálculo real con rendimiento 100%					305,2	874,6	1061,1	353,7					2592,5
Consumo utilizando sistema agua de pozo 8 evaporación													
Pérdidas por infiltración y evaporación													
Requisito sistema riego de pozo 8 evaporación													
Coefficiente corrector de la fórmula Thornthwaite, Blaney-Griggs					0,97;0,32	0,75;0,48	0,81;0,57	0,29;0,21					
Anormalidades o incidencias significativas													
Mezcla de mejor consumo y parámetro estadístico vegetativo													
Fórmula de abstracción utilizada	Super 500, Sulphato de Calcio 350, Cloruro potásico 70												
Ora de producción por Ha abonada	36,38												
Cm. por m ² /Ha de agua consumida	1,02												
Fecha de siembra	23 Marzo												
Fecha de cosecha	14 de Agosto												

FINCA.....LA POVEDA.....
 CULTIVO.....PATATA.....
 AÑO...1965.

CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES



RIEGO DE PIE

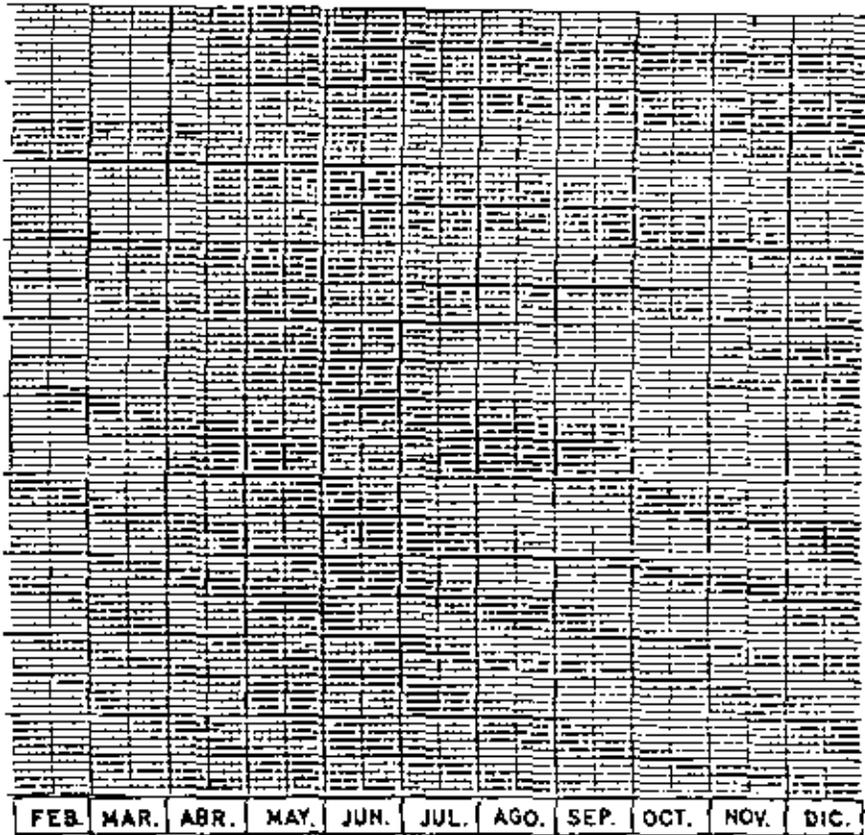


RIEGO POR ASPERSION

FINCA.....LA POVEDA.....
 CULTIVO.....PATATA.....
 AÑO 1.966..

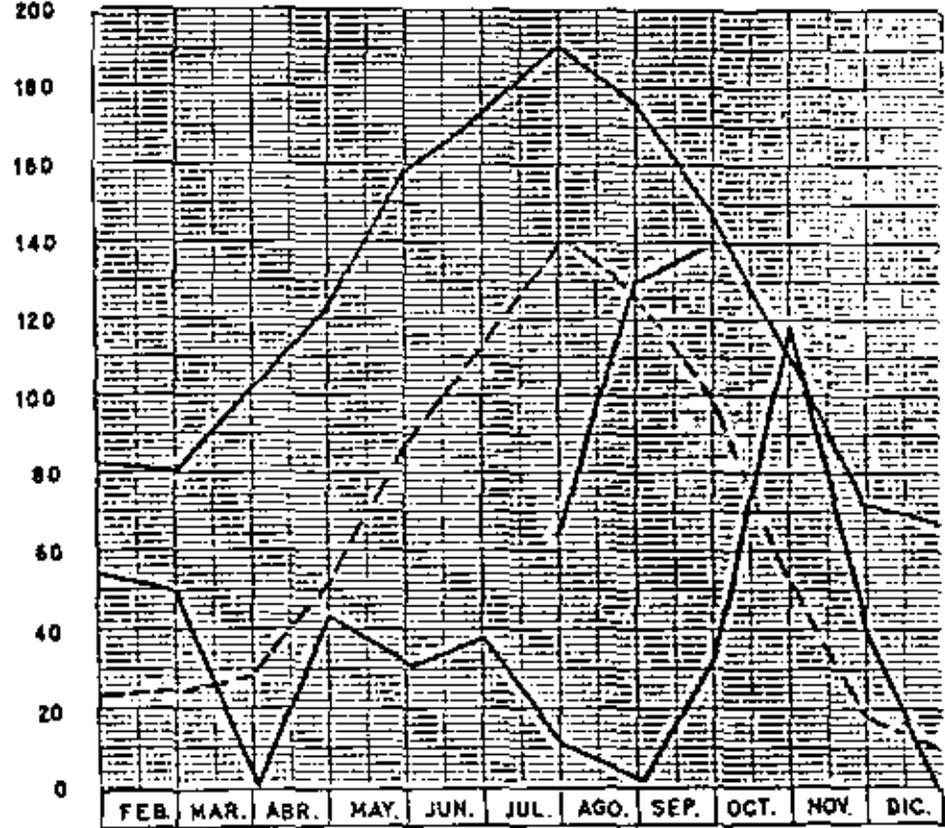
CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES

mm.



RIEGO DE PIE

mm.

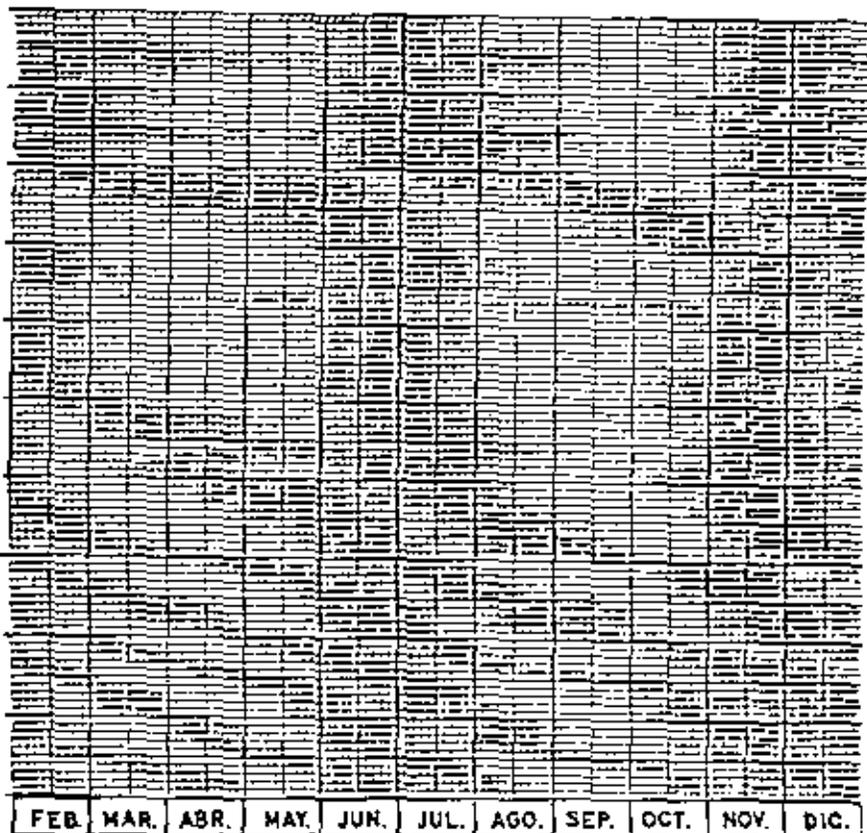


RIEGO POR ASPERSION

FINCA..... LA POVEDA.....
 CULTIVO..... PATATA.....
 AÑO...1,967...

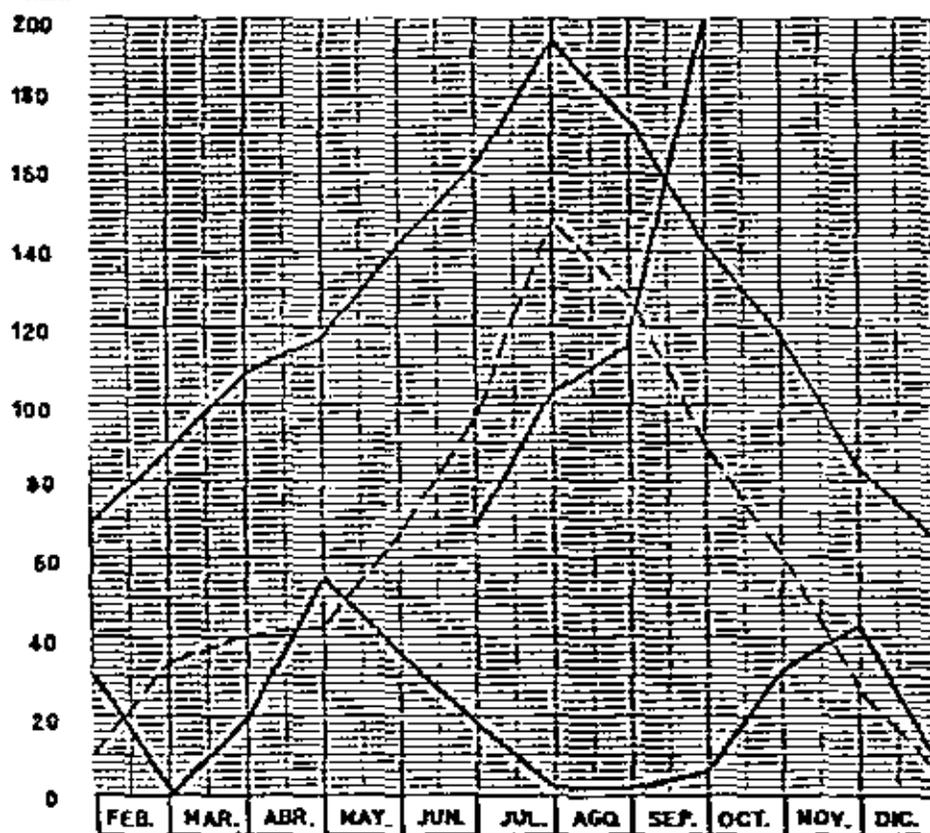
CURVAS DE CONSUMOS TEORICOS Y REALES

mm.



RIEGO DE PIF

mm.



RIEGO POR ASPERSION

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperaturas medias	8,1	8,2	8,2	12,1	16,6	19,3	22,9	22,4	20,3	13,0	6,1	4,4	
Perímetro	53,8	49,6	1,9	44,0	39,8	36,5	8,6	0,2	33,1	114,3	59,8	0,15	
Consumos utilizando fórmula de Thiery-Credé	22,68	22,41	27,81	49,95	85,56	108,75	140,97	127,44	96,72	48,96	14,94	9,72	
Consumos utilizando fórmula de Blaney-Crédé con 85%	30,21	29,56	98,74	122,38	157,30	171,02	190,63	174,95	146,13	109,03	73,13	66,29	
Consumos utilizando sistema riego por aspersión, rendimiento 85%				832,2									832,2
Consumos reales con rendimiento 100%				707,4									707,4
Consumos utilizando sistema riego de pozo a microirrigación													
Pérdidas por infiltración y evaporación													
Rendimiento sistema riego de pozo a microirrigación													
Coefficiente corrector de la fórmula Thiery-Credé, Blaney-Credé				2,380,94									
Anormalidades e incidencias vegetativas													
Mes de mayor demanda y período de máxima vegetativa													
Fórmula de abono utilizada	Super 400, Amoníaco 300, Cloruro Potásico 75												
Qm de producción por ha abonada	25,38												
Qm por m ² /ha de agua consumida	0,03												
Fecha de siembra	13 diciembre 1965												76
Fecha de cosecha	30 junio 1966												

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperaturas medias	4,7	11,4	10,7	10,7	13,6	17,7	24,0	22,8	18,8	16,6	8,0	3,1	
Perímetro	30,8	0,0	19,2	66,0	36,0	17,4	0,8	0,8	4,4	22,0	42,0	2,0	232,00
Consumos utilizando fórmula de Thiery-Credé	10,00	34,80	40,17	43,20	58,90	87,30	148,80	127,44	87,30	60,48	24,0	4,88	
Consumos utilizando fórmula de Blaney-Credé con 85%	49,81	89,35	198,2	118,04	112,13	173,84	198,75	178,38	140,21	117,84	81,75	42,48	
Consumos utilizando sistema riego por aspersión, rendimiento 85%					418,1								418,1
Consumos reales con rendimiento 100%					353,7								353,7
Consumos utilizando sistema riego de pozo a microirrigación													
Pérdidas por infiltración y evaporación													
Rendimiento sistema riego de pozo a microirrigación													
Coefficiente corrector de la fórmula Thiery-Credé, Blaney-Credé					1,03,043								
Anormalidades e incidencias vegetativas													
Mes de mayor demanda y período de máxima vegetativa													
Fórmula de abono utilizada	Super 100, Amoníaco 100, Cloruro Potásico 50												
Qm de producción por ha abonada	20,68												
Qm por m ² /ha de agua consumida	0,048												66
Fecha de siembra	20 diciembre												
Fecha de cosecha	19 julio												

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperatura media	8,1	8,2	9,2	12,1	16,6	19,3	22,9	22,4	20,3	13,0	6,1	4,4	
Pluviosidad	53,8	49,6	1,9	44,0	29,8	36,5	8,6	0,2	31,1	114,3	99,8	0,15	
Consumos utilizando fórmula de Thornthwaite	22,68	22,11	27,81	49,93	85,36	109,75	140,97	127,44	96,72	48,96	14,94	9,72	
Consumos utilizando fórmula de Blaney-Criddle con K=1	90,21	79,36	98,74	122,38	157,30	171,02	190,63	174,95	146,13	109,03	73,13	46,29	
Consumos utilizando sistema riego por aspersión, rendimiento 85%				832,2									832,2
Consumos reales con rendimiento 100%				707,4									707,4
Consumos utilizando sistema riego de goteo o escorrentía													
Pérdidas por infiltración y escorrentía													
Rendimiento sistema riego de goteo o escorrentía													
Coefficiente corrector de la fórmula Thornthwaite, Blaney-Criddle				2,2903									
Anormalidades e incidencias vegetativas													
Mes de mayor demanda y periodo de estado vegetativo													
Fórmula de abono utilizada	Super 307, Cloruro Potásico 75												
Ora de producción por Ha obtenidas	39,17												
Ora por m ² /Ha de agua consumido	0,047												
Fecha de siembra	7 Enero												57
Fecha de cosecha	15 Junio												

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Temperatura media	4,7	11,4	10,7	10,7	13,5	17,7	24,0	22,5	28,8	15,3	8,9	5,1	
Pluviosidad	30,6	0,0	19,2	56,0	35,0	17,4	0,6	0,5	4,4	27,9	42,9	2,6	232,00
Consumos utilizando fórmula de Thornthwaite	10,38	34,86	40,17	43,29	66,96	97,80	140,89	127,44	87,36	60,48	25,9	4,36	
Consumos utilizando fórmula de Blaney-Criddle con K=1	69,87	89,36	108,24	116,64	143,12	173,64	195,79	175,38	140,37	117,89	81,72	62,40	
Consumos utilizando sistema riego por aspersión, rendimiento 85%													
Consumos reales con rendimiento 100%													
Consumos utilizando sistema riego de goteo o escorrentía													
Pérdidas por infiltración y escorrentía													
Rendimiento sistema riego de goteo o escorrentía													
Coefficiente corrector de la fórmula Thornthwaite, Blaney-Criddle				1,29048									
Anormalidades e incidencias vegetativas													
Mes de mayor demanda y periodo de estado vegetativo													
Fórmula de abono utilizada	Super 100, amoníaco 300, cloruro potásico 100												
Ora de producción por Ha obtenidas	34,00												
Ora por m ² /Ha de agua consumido	0,03												
Fecha de siembra	27 diciembre 1966												
Fecha de cosecha	1 julio 1967												



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



MECANIZACION Y AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

FORMA PRACTICA DE COMPROBAR EL AGRICULTOR, LA SUPERFICIE
EN RIEGO QUE PUEDE ATENDER PARA UN CULTIVO, ACORDE CON EL
CAUDAL O DOTACION DE QUE DISPONE

DR. FAUSTINO GARCIA LOZANO

JULIO, 1980

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS

CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRAFICOS

FORMA PRACTICA DE COMPROBAR EL AGRICULTOR, LA SUPERFICIE EN
RIEGO QUE PUEDE ATENDER PARA UN CULTIVO, ACORDE CON EL CAU-
DAL O DOTACION DE QUE DISPONE.

=====

Autor: D. Faustino García Lozano,
Doctor Ingeniero Agrónomo.
Jefe del Negociado de
Aplicaciones Agronómicas.

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
INTRODUCCION	1
1.- NECESIDADES EN AGUA DE LOS CULTIVOS	2
2.- METODOLOGIA EMPLEADA EN EL CALCULO DE LAS NECESIDADES EN AGUA DE LOS CULTIVOS	4
3.- CURVA O NECESIDADES EN AGUA DE DIVERSOS CULTIVOS	7
3.1. Cultivos cereales de invierno y grano pienso	7
3.1.1. Necesidades en agua para trigo	7
3.1.2. " " " " cebada	9
3.2. Necesidades en agua de cultivos forrajeros	
3.2.1. Necesidades en agua para alfalfa	13
3.3. Necesidades en agua de cultivos industriales	
3.3.1. Necesidades en agua para lino	15
3.3.2. " " " " cártamo	16
3.3.3. " " " " algodón	17
3.3.4. " " " " remolacha azucarera	18
3.4. Necesidades en agua de frutales.	
3.4.1. Necesidades en agua de naranjo navel	19
3.4.2. " " " de toronja	20
3.4.3. " " " de viñedo para consumo en fresco	21
3.5. Necesidades en agua de tubérculos	
3.5.1. " " " de patata temprana	22
3.6. Necesidades en agua de cultivos hortícolas	
3.6.1. Necesidades en agua de melón (cantaloup)	23
3.6.2. " " " de repollo temprano	24
3.6.3. " " " de repollo tardío	25
3.6.4. " " " de zanahoria	26
3.6.5. " " " de lechuga	26

	<u>Pág.</u>
3.6.6. Necesidades en agua de cebolla	27
3.6.7. " " " de coliflor	28
4.- CONCLUSIONES DEL EXAMEN Y ANALISIS DE LAS NECESIDA-- DES EXPUESTAS	28
5.- METODOS PARA DETERMINAR LAS NECESIDADES EN AGUA DE -- UN CULTIVO EN EL MES DE MAYOR DEMANDA O NECESIDAD -- CONSUNTIVA	31
6.- APLICACION DE LA METODOLOGIA EXPUESTA	33

FORMA PRACTICA DE COMPROBAR EL AGRICULTOR, LA SUPERFICIE EN RIEGO QUE PUEDE ATENDER PARA UN CULTIVO, ACORDE CON EL CAUDAL O DOTACION DE QUE DISPONE.

Son muchas las opiniones y disparidades de criterio que rigen, cuando se examinan a nivel de agricultor, las necesidades de agua que precisa para atender su explotación con el riego. Asimismo, los caudales o normas de entrega del agua de que disponen para la realización del riego y sistemas de aplicación del agua a los cultivos, presentan el mismo carácter acusado de variabilidad.

Los diversos y variables sistemas de riego empleados normalmente por nuestros agricultores van unidos casi siempre a un desconocimiento o conocimiento muy incompleto, del rendimiento en la aplicación del agua al terreno que proporcionan. Es decir, la fracción o porcentaje del agua aplicada, que realmente recibe el terreno y por tanto la planta o cultivo que en ese momento está implantado, ya que una parte de ella se pierde o bien por escorrentía superficial o en profundidad.

Por otro lado, cuando se habla de necesidades en agua para los cultivos que se atienden con el riego, en numerosos casos se dan cifras de un número de m^3 por unidad de superficie y campaña de riego, olvidando que la cifra o volumen de riego que rige o regula el caudal unitario de entrega que precisa una explotación, es el necesario en el mes de mayor demanda o intensidad vegetativa. Ya que las necesidades totales por campaña o -

ciclo vegetativo del cultivo están totalmente influenciadas por la pluviometría presentada y por tanto son variables de un año a otro, incidiendo en la capacidad de almacenamiento o suministro total necesario.

Ha sido el panorama anterior, que ha motivado por parte de la Dirección General de Obras Hidráulicas, encomendar a su Servicio de Aplicaciones Agronómicas, la redacción de un manual a nivel de divulgación para el agricultor, que proporcione a éste un conocimiento sobre el modo de comprobar en forma práctica, qué superficie puede atender realmente en riego con los caudales o dotaciones de que dispone y la norma que rige en la Administración para señalarlas. Asimismo, explicar el significado e incidencia de la necesidad total estacional, así como sus repercusiones, caso de no estar cubiertas.

1. NECESIDADES EN AGUA DE LOS CULTIVOS.

Cuando se habla de necesidades en agua de los cultivos, se expresa normalmente el esquema de riego que el agricultor sigue o debe seguir para atender con él un cultivo.

En este esquema, nos vamos a olvidar de una premisa que por desgracia impera en muchos regadíos, no solo de nuestra Patria sino del mundo, de que la forma de obtener buenas cosechas, es disponer de agua sin limitación.

Premisa que se apoya normalmente, en la utilización de sistemas de riego, con bajo rendimiento en la aplicación del agua al terreno. Por tanto, sistemas que producen grandes pérdidas en el agua aplicada, con la necesidad para compensarlas de utilizar grandes volúmenes de agua por riego y separación o intervalo de días entre riegos muy pequeños. Separación o intervalo de días pequeño que lleva unido mayor número de riegos en la campaña, con el para-

lelo aumento de pérdidas.

Las necesidades en agua de los cultivos sirven para de terminar o señalar el esquema o programa de riegos que debe seguir el agricultor, pero no sirve un esquema señalado por rutina o tradición, para indicar o proporcionar las necesidades en agua del cultivo a que se aplica, máxime cuando no se ha comprobado el rendimiento del sistema de riego que va unido al esquema y la repercusión de su variación en la producción.

Aclararemos lo anterior. La necesidad en agua de un cultivo es la que éste precisa a lo largo de su ciclo vegetativo para desarrollarse y dar la producción máxime económica que se persigue con su implantación. Esta necesidad varía con el desarrollo del cultivo y condiciones climáticas que imperan a lo largo de su ciclo vegetativo y es normalmente designada como evapo-transpiración. Necesidad que en si misma es independiente de las condiciones del suelo donde el cultivo se encuentra implantado, así como del sistema o método que se emplee para realizar el riego, escu-rrimiento o gravedad, aspersión, goteo, etc. Esta necesidad puede ser proporcionada en parte por el riego y en parte por lluvias y además está afectada por el rendimiento del sistema de riego que se emplee para proporcionarla.

Nos encontramos, por tanto, con unas necesidades en -- agua del cultivo, que podemos dividir las en tres periodos:

1º.- De la siembra del cultivo hasta su nascencia y cubrición total del terreno por ella.

2º.- Desde la cubrición total del terreno, hasta el momento de su máxime desarrollo vegetativo e iniciación del fin pro

ductivo que se persigue con su implantación.

3ª.- Desde este momento hasta la maduración del producto a obtener e iniciación de su recolección.

Los periodos o etapas anteriores van unidos a condiciones climáticas de humedad, viento, temperatura e iluminación variables, independientes de anomalías adversas que en ellas puedan presentarse.

El consumo o necesidad para cada uno de los periodos anteriores, se expresa en milímetros, mm., de altura de agua, teniendo presente que su equivalencia es similar a la medida del agua de lluvia que pueda presentarse. Un milímetro de altura de agua es -- equivalente a 1 litro por m^2 ó $10 m^3$ por Ha., con ello una lluvia de 1 mm. ó un consumo similar, es el de 1 litro por m^2 que el cultivo cubre. Caudal que en el primer caso es aportado y en el segundo sustraído.

2. METODOLOGIA EMPLEADA EN EL CALCULO DE NECESIDADES EN AGUA DE -- LOS CULTIVOS.

En este momento son numerosos los estudios y ensayos experimentales realizados para conocer las necesidades o consumos en agua de los cultivos a lo largo de su ciclo vegetativo, acordes -- con las condiciones climáticas de su emplazamiento y estado o periodo de su desarrollo vegetativo. Estudios y experiencias que iniciados hace unos 60 años en países con agricultura de regadío desarrollada, como Estados Unidos, están centrados en los métodos siguientes:

a) Medida del agua de riego necesaria para mantener un desarrollo vegetativo satisfactorio del cultivo, en tiestos o depósitos, que normalmente se denominan lisímetros.

b) Medida de la cantidad de agua aplicada a pequeñas -- parcelas o superficies del cultivo en el propio campo, tomadas co mo elementos de control para este fin.

o) Determinación de las variaciones del contenido de hu medad en el suelo que sustenta el cultivo.

Métodos que presentan anomalías de tipo práctico y económico en su desenvolvimiento, que no ennumeramos en este trabajo por evitar alargarlo sin resultado positivo para el fin que persigue su realización.

Si, en cambio, destacamos que derivada de las anomalías mencionadas, en el transcurso de estos últimos 30 años, se ha iniciado la tendencia de métodos experimentales, para determinar las necesidades en agua de los cultivos, centrados en medidas gravimétricas o de pesada de muestras de suelo para controlar sus variaciones de humedad en campo, a lo largo de la profundidad radicular del cultivo implantado.

Estas determinaciones han sido asociadas a una reposi- ción controlada de la humedad sustraída, teniendo en cuenta la re posición efectuada por las lluvias que en el periodo considerado se han presentado. Asimismo, el control o medida del momento que la reposición antes mencionada se ha alcanzado, ha sido básica en estas determinaciones.

Asimismo, han sido diversos los sistemas de riego o apli cación del agua al terreno, para efectuar la reposición, con medi das bien controladas del agua aplicada y su comparación con el -- agua necesaria a reponer, para establecer rendimientos de estos sis temas. Normas o trabajos unidos a control del desarrollo vegetati-

vo del cultivo, marco de plantación y producción alcanzada.

Metodología la anterior, que ha sido base de las experiencias cuyos resultados se dan en este trabajo, realizadas por la Dirección General de Obras Hidráulicas. Experiencias que corresponden a una localidad de emplazamiento climático con temperatura media en la primera quincena de Julio, de 30° C. y porcentaje de horas de luz sobre el total del año de 9,82.

Independiente del esquema que daremos a continuación para el empleo por el agricultor de la metodología aplicada en la obtención de los datos anteriores, se exponen las necesidades en agua para las condiciones climáticas antes indicadas y su distribución estacional, de algunos de los cultivos experimentados como los siguientes:

	(	Trigo
Cereales de invierno y grano para pienso	{	Cebada
	{	Sorgo para grano
Cultivos forrajeros	(	Alfalfa
	{	Lino
Cultivos industriales	{	Cártamo
	{	Remolacha azucarera
	{	Algodón
Tuberculos	(	Patatas
	{	Vifedo de mesa
Frutales	{	Naranja Navel
	{	Toronja
	{	Melón Cantaloup

Hortalizas	Repollo temprano
	" tardío
	Zanahoria
	Lechuga
	Cebolla
	Coliflor

Cultivos los anteriores elegidos por ser dispares en -- sus necesidades de agua, permitiendo contrastar su incidencia en la superficie que se puede dominar en riego, para cada uno de -- ellos, con una misma disponibilidad de dotación o suministro de -- entrega de agua.

Para cada uno de los cultivos antes indicados, se da la curva de sus necesidades en agua o consuntivas, a lo largo de su periodo vegetativo, en las condiciones climáticas antes indicadas, que con pequeño margen de error, pueden tomarse como orientativas para nuestras zonas mediterráneas orientales. Por otro lado, el -- cómputo del consumo estacional se ha realizado para cada mes en -- dos periodos iguales, que por simplificar se han considerado cons -- tantes de 15 días.

3. CURVAS O NECESIDADES EN AGUA DE DIVERSOS CULTIVOS.

3.1. Cultivos cereales de invierno y grano para pianto.

3.1.1. Necesidades en agua para trigo.

El gráfico nº 1 muestra la curva de necesidades en agua para trigo de ciclo corto. Este gráfico tiene señalados los perio -- dos siguientes:

De siembra a cubrición total del terreno por su nascen -- cia.

De esta cubrición hasta el espigado total.

Del espigado total a la floración.

De la floración a la formación de fruto en esta lechoso.

De la formación del fruto en estado lechoso a su total secado y granazón.

El ciclo vegetativo es de Enero a Mayo y cada mes está dividido por las letras a, b, c, d, e en dos periodos, comprendiendo cada una la mitad de los días totales del mismo, que para simplificar consideramos de 15 días.

Este gráfico, está diseñado en base de un desarrollo radical del cultivo de 1'80 mts. Asimismo, que el consumo total estacional de 582'4 mm. = 5824 m³/Ha. ha sido consumido a lo largo de este perfil en los porcentajes siguientes:

De 0 a 0'30 m.	el 36%	Esto indica, que la pro
De 0'30 a 0'60 m.	el 25%	fundidad radical de mayor ac-
De 0'60 a 0'90 m.	el 17%	tividad de extracción, se encuen
De 0'90 a 1'20 m.	el 9%	tra en los 60 cm. primeros, que
De 1'20 a 1'50 m.	el 8%	consumen el 61% de la necesidad
De 1'50 a 1'80 m.	el 5%	estacional máxima de agua.

En la línea horizontal del gráfico, se dan los consumos o necesidades de agua en mm., para los periodos de 15 días considerados, y en escala vertical los consumos para estos periodos -- por días.

De esta forma, si queremos conocer el periodo de mayor demanda, el gráfico muestra que es la segunda quincena de Abril -- con 148'59 mm., que corresponde por día a una media de - - - - -
 $\frac{148'59}{15} = 9'90$ mm. Este valor en el gráfico se podía haber obtenido, trazando por A punto más elevado de la curva de consumo, una

GRAFICO N° 1

89

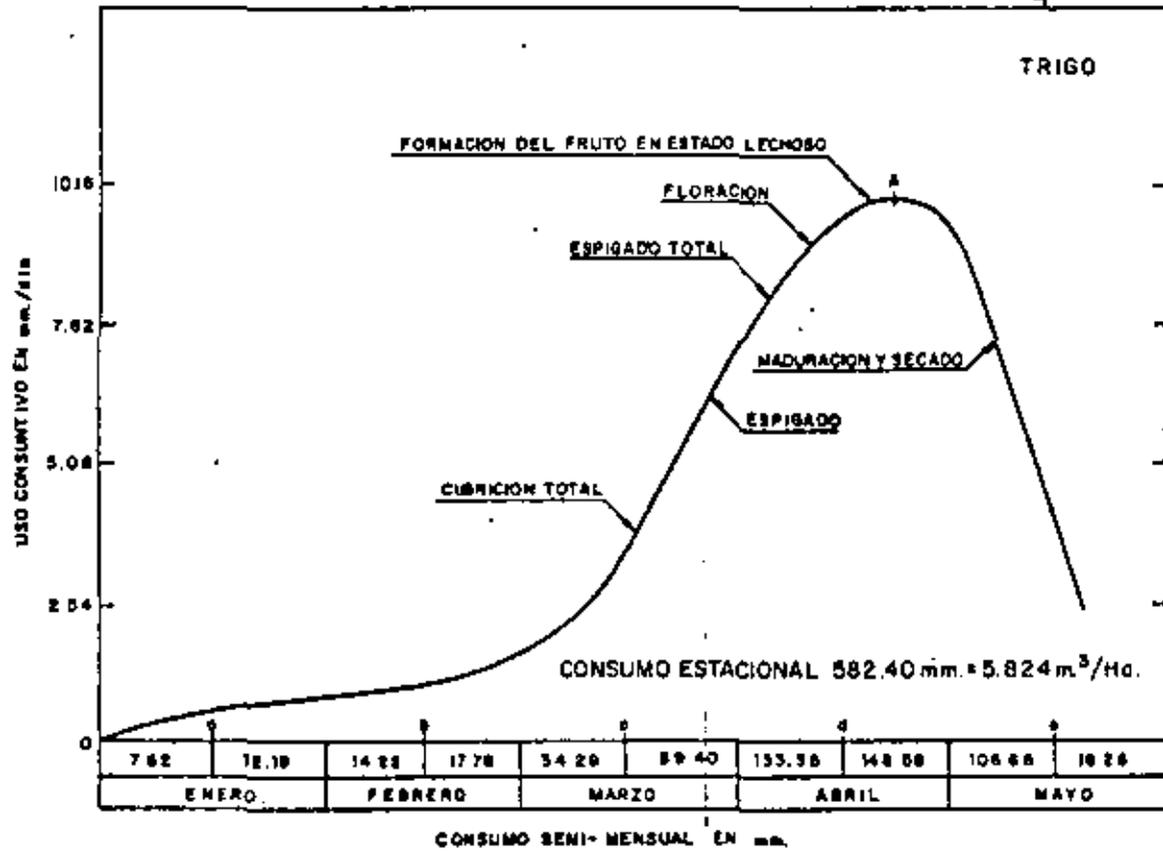
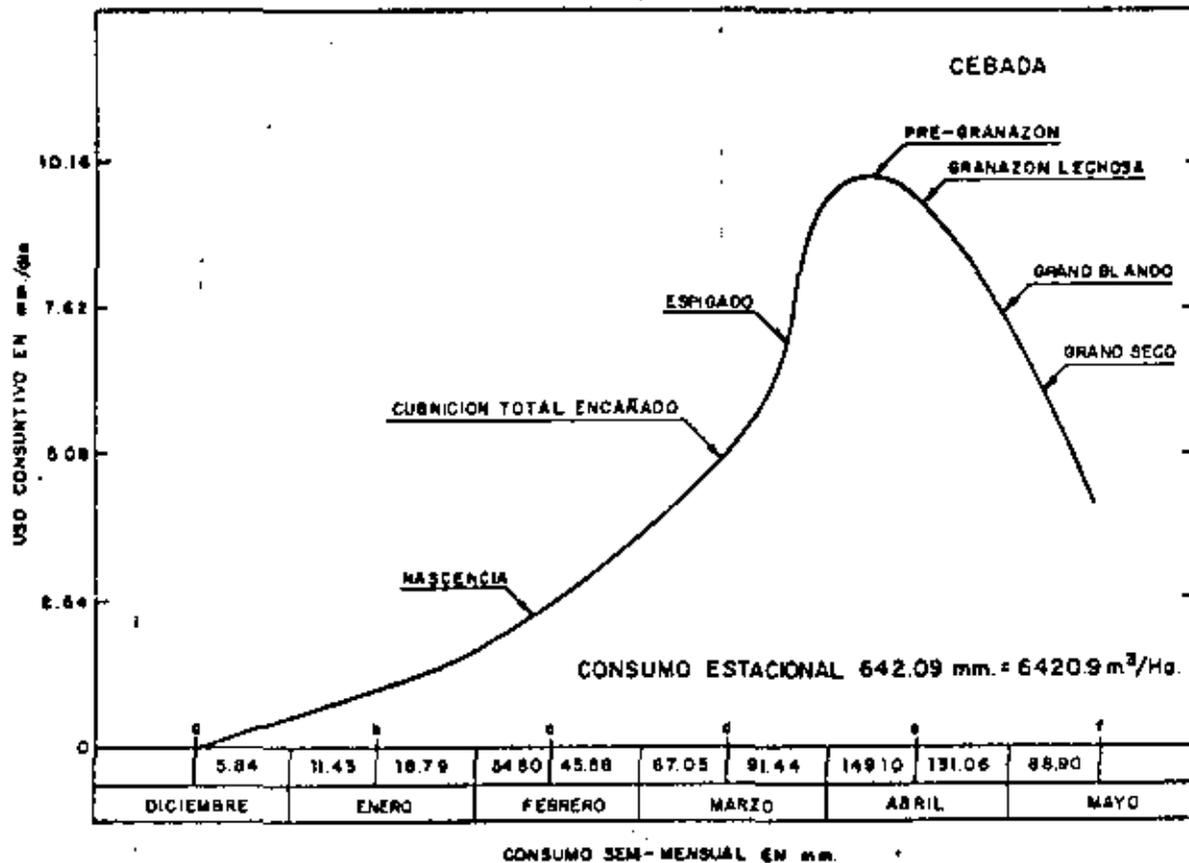


GRAFICO N° 2



horizontal que corta a la escala vertical, en el valor del consumo por día antes indicado.

Con ello, si se examina una explotación que dispone de 25 litros por segundo de dotación continua en 24 horas. Como el consumo de 9'90 mm./día equivale a 99 m³/Ha. día y los 25 l./s. continuos en el día proporcionan

$$25 \times 24 \text{ horas} \times 3.600 \text{ seg./hora} = 2.160.000 \text{ litros} = 2.160 \text{ m}^3$$

Puede atender con trigo una superficie máxima en riego de $\frac{2.160 \text{ m}^3/\text{día}}{99 \text{ m}^3/\text{H.}/\text{día}} = 21'81 \text{ Has.}$

Las necesidades anteriores han sido realizadas en base de un rendimiento del riego del 80%, ya que se ha utilizado asperción para el contraste, comprobado el rendimiento anterior.

Si por el contrario, se hubiera empleado un sistema de gravedad, con rendimiento del 60% habría que multiplicar la superficie anterior por $\frac{0'6}{0'8}$ y entonces podría regar solo

$$21'81 \times \frac{0'6}{0'8} = \frac{13'086}{0'8} = 16'35 \text{ Has.}$$

3.1.2. Necesidades en agua para cebada.

El gráfico nº 2, muestra la curva de uso consuntivo para este cultivo. Esta curva muestra como la anterior, los periodos vegetativos siguientes:

De siembra a nascencia.

De nascencia a encañado.

De encañado a espigado.

De espigado a pre-granazón.

De pre-granazón a granazón lechosa.

De granazón lechosa a formación de grano blando.

De formación de grano blando a maduración.

El periodo vegetativo es de Diciembre a Mayo, y cada mes, como en el gráfico anterior, está dividido por las letras a, b, c, d, e, f, en periodos de 15 días.

El gráfico esta diseñado en base de un desarrollo radicular máximo de 1'80 mts., habiéndose distribuido en esta profundidad el consumo estacional máximo de $6420'9 \text{ m}^3/\text{Ha.}$, como sigue:

De 0 a 0'30 m.	el 30%	Esto indica que, como en el caso anterior del trigo, la profundidad de zona radicular con absorción máxima, se encuentra en los 60 cms. primeros con el 54% de la necesidad estacional máxima.
De 0'30 a 0'60 m.	el 24%	
De 0'60 a 0'90 m.	el 19%	
De 0'90 a 1'20 m.	el 13%	
De 1'20 a 1'50 m.	el 8%	

Si como en el caso anterior, se dispone de 25 l./s. de dotación continua, como el periodo de mayor demanda es la primera quincena de Abril, con 149'10 mm. en 15 días, por día es

$$\frac{149'10}{15} = 9'94 \text{ mm./día} = 99'4 \text{ m}^3/\text{Ha. día.}$$

Por tanto, como la dotación disponible idéntica al caso anterior, es de $2160 \text{ m}^3/\text{día}$, puede regar con rendimiento del 80%

$$\frac{2160}{99'4} = 21'73 \text{ Has. y con sistema de riego de rendimiento}$$

to 60%

$$\frac{21'73 \times 0'6}{0'8} = \frac{130'38}{0'8} = 16'29 \text{ Has.}$$

31.3., Necesidad en agua de sorgo para grano.

En el gráfico nº 3, se muestra la curva de uso consuntivo de sorgo para grano. Esta curva como las anteriores, muestra

GRAFICO N° 3

10a.

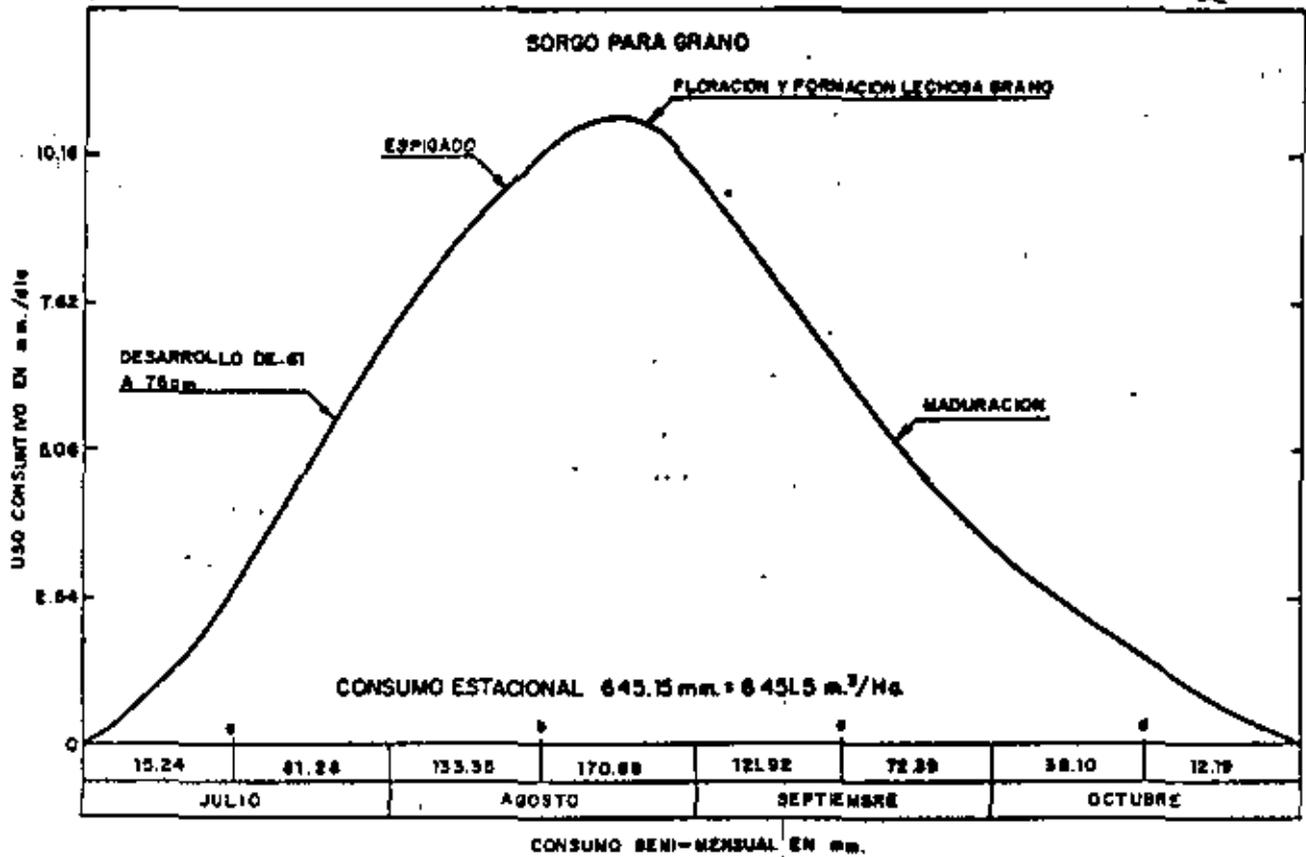
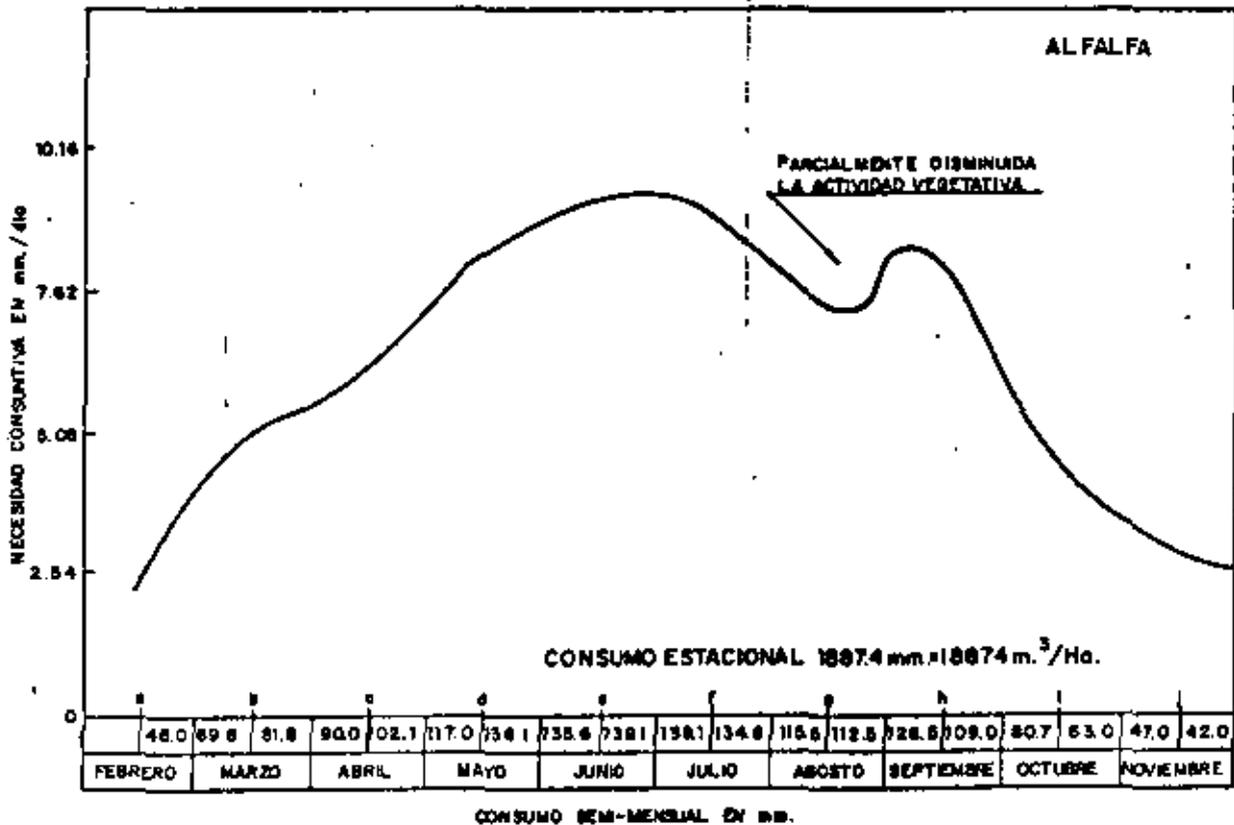


GRAFICO N° 4



los periodos vegetativos siguientes:

De siembra a un desarrollo del tallo de 16 cm. a 76 cm.

Del desarrollo de tallo anterior a espigado.

De espigado a floración y formación lechosa del grano.

De formación lechosa del grano a maduración.

El periodo vegetativo es de Julio a Octubre y cada mes, como en los gráficos anteriores, está dividido por las letras a, b, c, y d, en periodos de 15 días.

El gráfico está confeccionado por un desarrollo radicular máximo de 1'80 mts., habiéndose distribuido el consumo estacional para esta profundidad en los porcentajes siguientes:

De 0 a 0'30 m.	el 35%	Esto indica que, como en -
De 0'30 a 0'60 m.	el 26%	caso del trigo y cebada, la profun-
De 0'60 a 0'90 m.	el 16%	didad de zona radicular con absor-
De 0'90 a 1'20 m.	el 11%	ción máxima, se encuentra en los -
De 1'20 a 1'50 m.	el 7%	primeros 50 cms. con el 61% de la
De 1'50 a 1'80 m.	el 5%	necesidad estacional máxima.

El consumo estacional de este cultivo es de 6451'5 m³/Ha.

Si como en los casos anteriores, el caudal unitario de entrega es de 25 l./s. continuos en 24 horas, el volumen diario disponible es de 2160 m³/día.

El gráfico n° 3 muestra que el periodo de mayor demanda o necesidad consuntiva es la segunda quincena de Agosto con 170'08 mm. y por día $\frac{170'08}{15} = 11'33$ mm./día = 133'3 m³/Ha. día.

Por tanto, la superficie que puede dominar o atender en riego para este cultivo es

$$\frac{2160 \text{ m}^3/\text{día}}{133'3 \text{ m}^3/\text{Ha. día}} = 16'20 \text{ Ha. y con sistema de riego de ren-}$$

dimiento 60%

$$\frac{16'20 \times 0'6}{0'8} = 12'15$$

Podemos comprobar que para estos tres cultivos, con una misma dotación y sistema de riego, que en el caso considerado es aspersión con el 80%, el agricultor puede atender en riego

Trigo	16'35 Has.
Cebada	16'29 "
Sorgo para grano	12'15 "

Las superficies anteriores, con consumos estacionales de agua siguientes:

Trigo ...	5824 m ³ /Ha. y estación o periodo vegetativo.
Cebada ..	6420'9 m ³ /Ha. "
Sorgo ...	6451'5 m ³ /Ha. "

Los consumos anteriores, son los que el cultivo necesita a lo largo de su ciclo vegetativo total para un desarrollo y producción óptima.

Con ello, para su cómputo real en relación con la necesidad o volumen total de agua de riego para cubrirlas, hay que considerar las lluvias que pueden presentarse en su periodo vegetativo, que pueda almacenar y retener el terreno.

Por ejemplo, si los cultivos antes mencionados reciben lluvias a lo largo de su periodo vegetativo cifradas en 250 mm. Como esta aportación, al ser 1 mm = 1 litro por m² = 10 m³ por Ha. es de 2.500 m³/Ha., debe restarse de los consumos estacionales anteriores, para tener el consumo que precisa aportar el riego.

Siendo el ciclo vegetativo en trigo para el área estudiada, de Enero a Mayo y para cebada de Diciembre a Mayo, este agri—

cultor puede atender la misma superficie de 16'30 Has. para trigo o cebada, pero solo uno de estos cultivos, sembrando a continuación sorgo para grano en solo 12'15 Has., o bien si dispone de superficie atender con riego 28 Has., 16 Has. de ellas a trigo o cebada y 12 Has. a sorgo para grano con la misma dotación unitaria de 25 l./s. continuos, pero con consumos o necesidades totales de agua, sin contar o tener en cuenta aportaciones de lluvias, cifradas en:

5824 m³/Ha., 6420'9 m³/Ha., ó 6451'45 m³/Ha., por estación o periodo vegetativo para un solo cultivo trigo, cebada o sorgo para grano.

O bien

12275'5 m³/Ha. ó 12872'4 m³/Ha. para trigo-sorgo ó cebada-sorgo asociados.

Con ello tenemos que el caudal unitario continuo disponible señala la superficie máxima que puede atender en riego y la dotación o necesidad total estacional, descontando la aportación de lluvias, la capacidad máxima de almacenamiento o aportación que precisa para el total de su desarrollo vegetativo.

3.2. Necesidades en agua de cultivos forrajeros.

3.2.1. Necesidad en agua para alfalfa.

Frente a las necesidades en agua o consuntivas dadas anteriormente, en el gráfico nº 4, se muestra la curva de consumo para alfalfa.

En esta curva, observamos que el periodo de mayor demanda o necesidad es la segunda quincena de Junio o primera de Julio, con 139'1 mm. Consumo que por día corresponde a $\frac{139'1}{15} = 9'27$ mm/día.

= 92'70 m³/Ha. día.

El periodo vegetativo, para las condiciones climáticas indicadas en el principio de este trabajo, es de Febrero a Noviembre, con un consumo o necesidad estacional máximo sin aportación de lluvias de 18'874 m³/Ha.

El gráfico como los anteriores, tiene dividido cada mes por las letras a, b, c, ... h, i, en periodos de 15 días y está diseñado en base de un desarrollo radicular máximo de 2'40 mts.

En base de este desarrollo radicular, la distribución en profundidad del consumo o necesidad consuntiva estacional, es como sigue:

De 0 a 0'30 mts.	el 30%	Esto indica que para la alfalfa, la profundidad de zona radicular con absorción máxima, se encuentra en los 90 primeros centímetros, con el 60% de la necesidad máxima estacional.
De 0'30 a 0'60	el 16%	
De 0'60 a 0'90	el 14%	
De 0'90 a 1'20	el 12%	
De 1'20 a 1'50	el 11%	
De 1'50 a 1'80	el 7%	
De 1'80 a 2'10	el 5%	
De 2'10 a 2'40	el 5%	

Siendo, como en los casos anteriores, la dotación unitaria disponible de 25 l./s. continuos, como el consumo diario máximo en la primera quincena de Julio es 9'27 mm./día = 92'7 m³/Ha. día y la aportación diaria de 2160 m³/día, puede atender en riego

$$\frac{2160}{92'7} = 23'30 \text{ Has. con rendimiento de riego del } 80\% \text{ y}$$

$$\frac{23'30 \times 0'6}{0'8} = \frac{13'98}{0'8} = 17'47 \text{ Has. con rendimiento del } 60\%.$$

Vemos, aunque parezca paradójico, que puede atender ma-

por superficie de riego con alfalfa, frente a trigo, cebada y -- sorgo, para una misma dotación unitaria pero con consumos o necesidad total estacional sin lluvia, de $18.874 \text{ m}^3/\text{Ha.}$, casi tres veces las necesarias para estos cultivos.

3.3. Necesidades en agua de cultivos industriales.

Siguiendo esta exposición comparativa de necesidades en agua o consuntivas de cultivos básicos, como premisa de conocer las superficies que puede atender con riego un agricultor a la vista de un caudal unitario disponible, pasamos a analizar las necesidades de lino, remolacha azucarera y algodón, con la superficie que pueden atender para una misma dotación.

3.3.1. Necesidades en agua para lino.

El gráfico nº 5, muestra las necesidades en agua o consuntivas para lino, a lo largo de su periodo vegetativo, en el área climática de los cultivos anteriores.

En esta curva, observemos que el periodo de mayor demanda o necesidad es la primera quincena de Abril, con $87'63 \text{ mm.}$ Consumo que por día corresponde a $\frac{87'63}{15} = 5'84 \text{ mm.} = 58'4 \text{ m}^3/\text{Ha. día.}$

El periodo vegetativo es de Noviembre a Junio, con un consumo o necesidad estacional máximo, sin contar aportaciones de lluvia, de $794'73 \text{ mm} = 7947'30 \text{ m}^3/\text{Ha.}$

El gráfico con la norma de los anteriores, tiene dividido cada mes por las letras a, b, c, ... f, g, h, en periodos de 15 días y está confeccionado en base de un desarrollo radicular máximo de $1'80 \text{ mts.}$

En base de este desarrollo radicular, la distribución en profundidad del consumo o necesidad consuntiva estacional, es

GRAFICO N° 5

15a

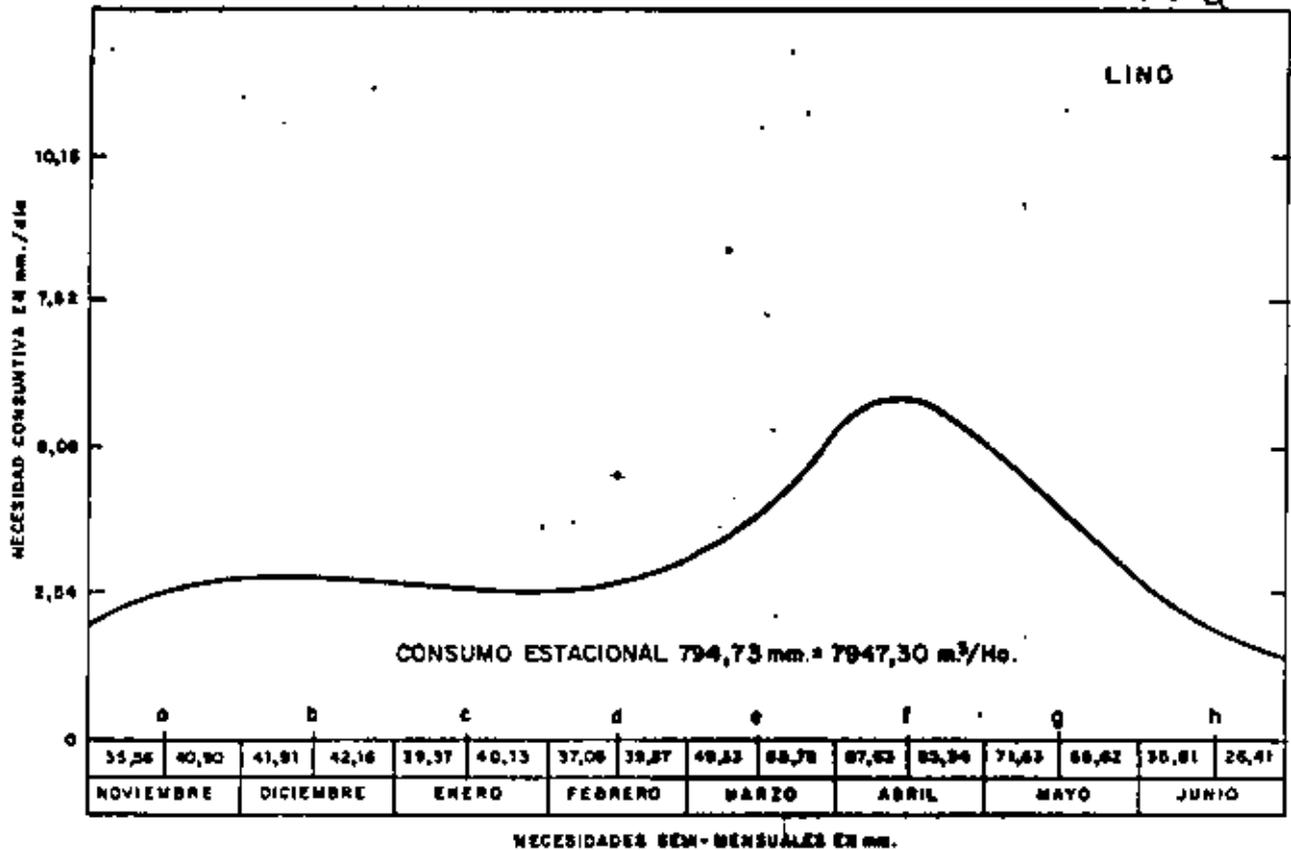
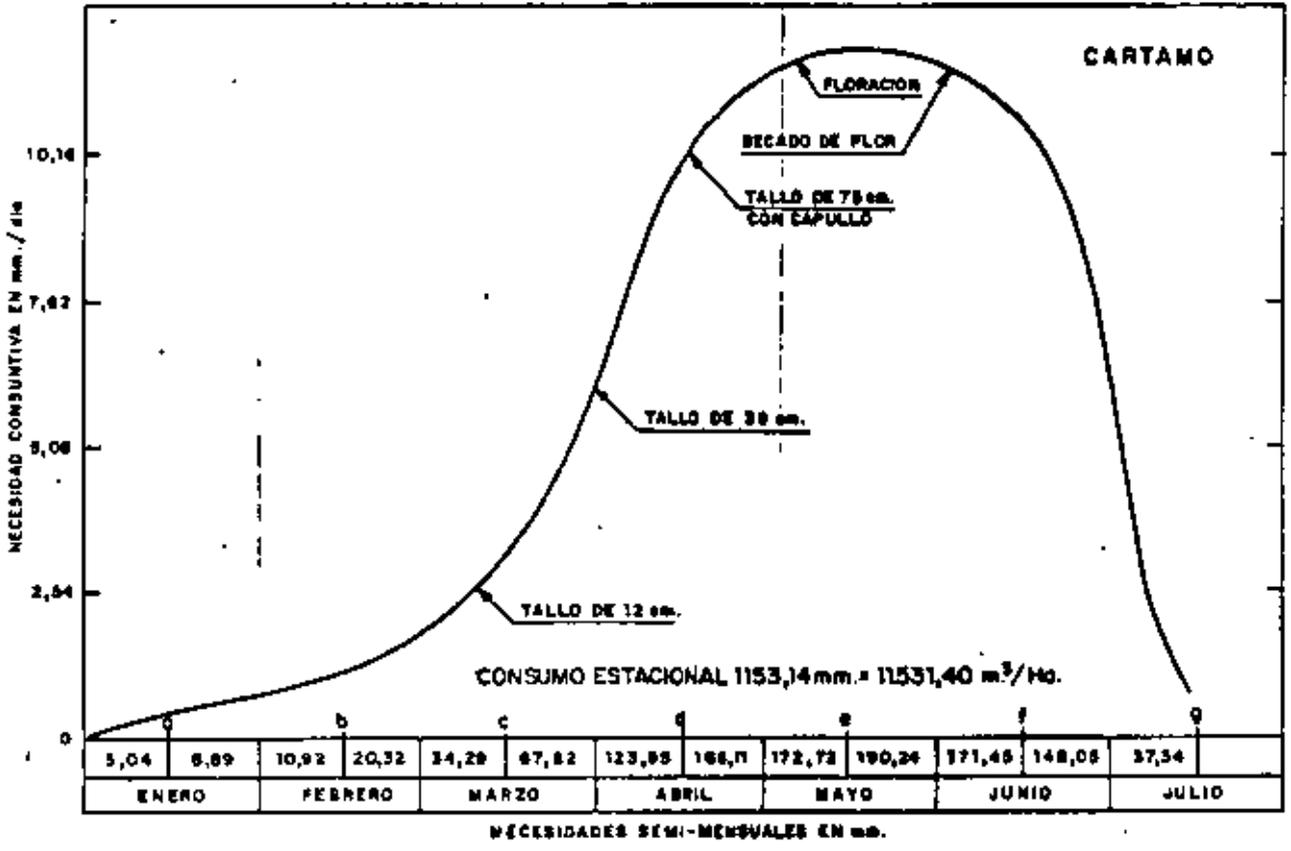


GRAFICO N° 6



como sigue:

De 0 a 0'30 mts.	27%	Esto indica que para - lino, la profundidad de zona - con mayor absorción radicular, se encuentra en los 90 cms. pri- meros con 69%
De 0'30 a 0'60 m.	24%	
De 0'60 a 0'90 m.	18%	
De 0'90 a 1'20 m.	14%	
De 1'20 a 1'50 m.	11%	
De 1'50 a 1'80 m.	6%	

Si la dotación unitaria disponible es de 25 l/a., como esto representa una aportación diaria de $2160 \text{ m}^3/\text{día}$ y el consumo diario es de $5'84 \text{ mm} = 58'40 \text{ m}^3/\text{Ha. día}$, se puede atender en riego para este cultivo

$$\frac{2160}{58'4} = 36'98 \text{ Has. con sistema de rrendimiento } 80\%$$

$$\text{y } \frac{36'98 \times 6}{8} = 27'73 \text{ Has. con sistema de rrendimiento } 60\%.$$

3.3.2. Necesidades en agua para cártamo.

El gráfico nº 6 muestra las necesidades en agua o consuntivas para cártamo a lo largo de su ciclo vegetativo, con su división en los diversos periodos de desarrollo, como se ha mostrado en los gráficos anteriores.

El periodo de mayor demanda es la segunda quincena de Mayo, con $190'24 \text{ mm.}$, que corresponde por día $\frac{190'24}{15} = 12,68 \text{ mm.}$

El gráfico con la norma de división en periodos quincenales por mes y su designación similar a los anteriores, se ha confeccionado para desarrollo radicular de 1'80 mts. La distribución en profundidad de las necesidades consuntivas estacionales cifradas en $1153'14 \text{ mm} = 15.531'40 \text{ m}^3/\text{Ha.}$, se distribuyen como --

sigue:

De 0 a 0'30 m.	el 34%	Este indica que para cártamo, la profundidad de zona radicular con mayor absorción - son los 90 cms. primeros con el 78%.
De 0'30 a 0'60 m.	el 24%	
De 0'60 a 0'90 m.	el 20%	
De 0'90 a 1'20 m.	el 11%	
De 1'20 a 1'50 m.	el 7%	
De 1'50 a 1'80 m.	el 4%	

Si la dotación unitaria es de 25 l./s., con aportación total al día 2160 m³/día, como el consumo diario es 12'68 mm = 126'80 m³/Ha. día, puede atender en riego con este cultivo

$$\frac{2160}{126'8} = 17'03 \text{ Has. para sistema de rendimiento } 80\% \text{ y}$$

$$\frac{17'30 \times 6}{8} = 12'97 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 60\%$$

3.3.3. Necesidades en agua para algodón.

El gráfico nº 7, confeccionado con la misma normativa que los anteriores, muestra las necesidades en agua o consuntivas para algodón a lo largo de su ciclo vegetativo.

El periodo de mayor demanda es la segunda quincena de Julio, con 148'34 mm., que corresponde por día $\frac{148'34}{15} = 9'88 \text{ mm/día}$ = 98'8 m³/Ha. día. Asimismo, la necesidad en agua estacional es de 1046'52 mm = 10465'20 m³/Ha.

Si la dotación disponible es de 25 l./s. continuos con aportación al día 2160 m³/día, al ser el consumo diario de - - - 9'88 mm./día = 98'80 m³/Ha. día, puede atender en riego para este cultivo

$$\frac{2160}{98'88} = 21'86 \text{ Ha., con sistema de rendimiento } 80\% \text{ y}$$

GRAFICO Nº 7

174

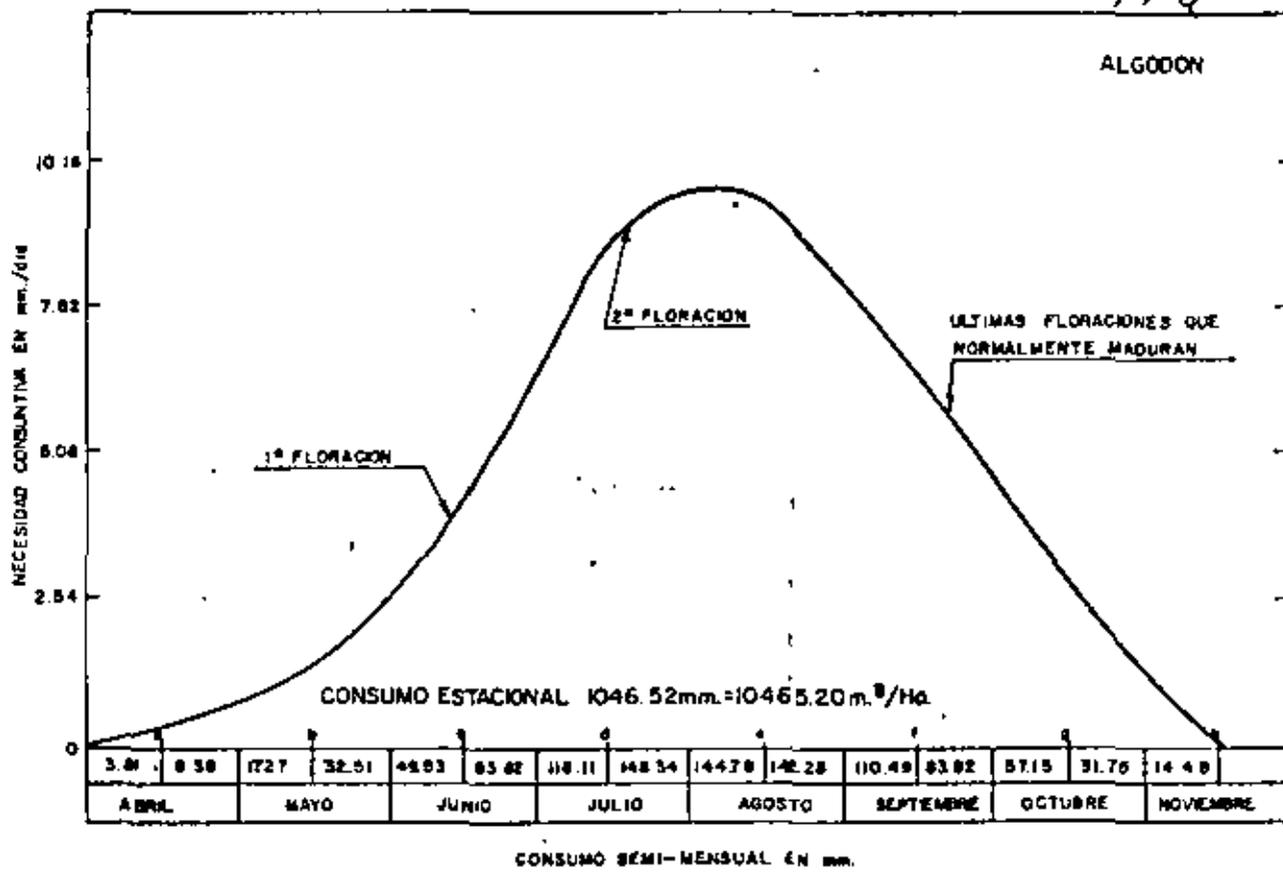
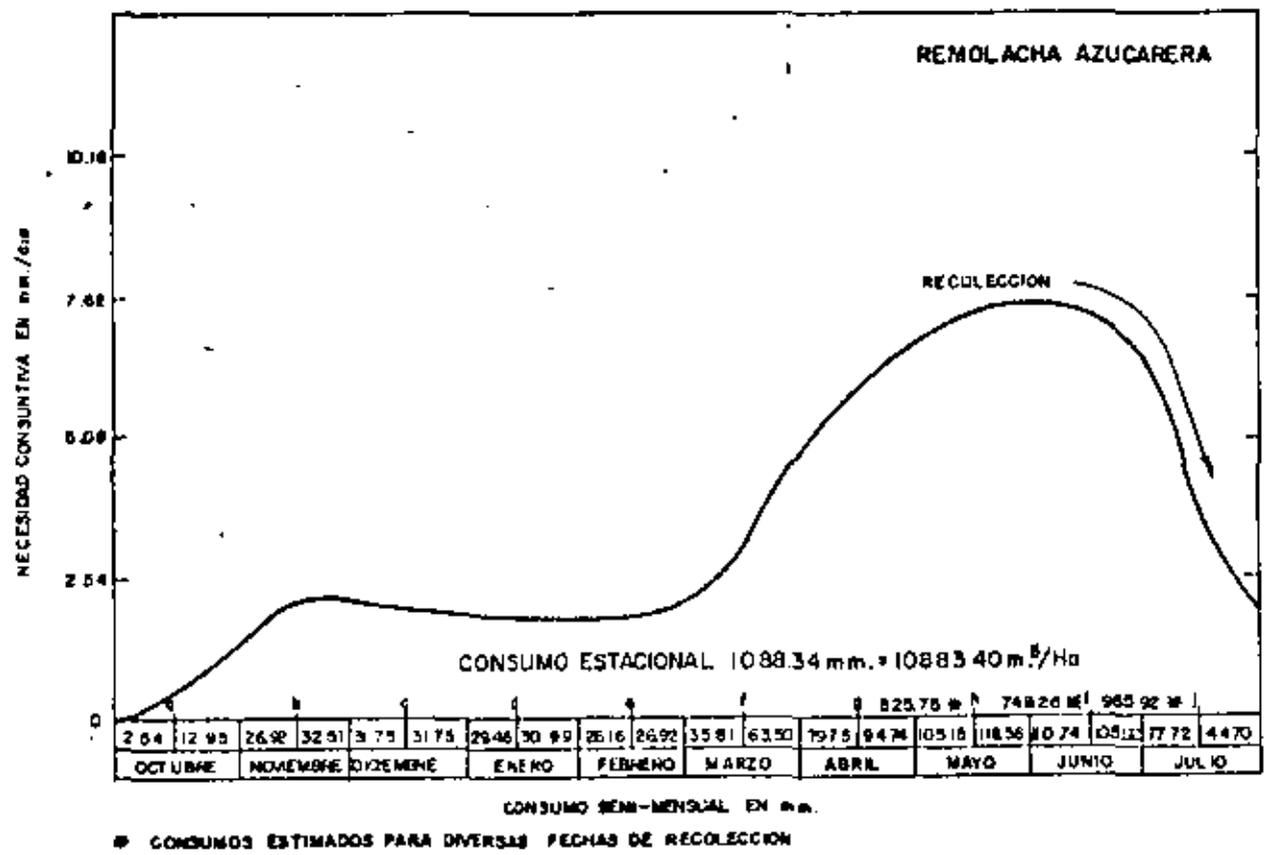


GRAFICO Nº 8



$$\frac{21'86 \times 6}{8} = 16'39 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 60\%.$$

3.3.4. Necesidades en agua para remolacha azucarera.

El gráfico nº 8 confeccionado con la misma normativa, — muestra las necesidades en agua o consuntivas para remolacha azucarera, a lo largo de su ciclo vegetativo.

El periodo de mayor demanda es la segunda quincena de Mayo, con 118'36 mm., que por día representa $\frac{118'36}{15} = 7'89 \text{ mm/día} = 78'9 \text{ m}^3/\text{Ha. día}$. Asimismo, la necesidad estacional es de 1088'34 mm : 10.883'40 m³/Ha.

Si la dotación disponible es de 25 l./s., con aportación total al día 2160 m³/día, como el consumo o necesidad diario es de 7'85 mm./día = 78'50 m³/Ha. día puede atender en riego con este cultivo

$$\frac{2160}{78'90} = 27'37 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 80\% \text{ y}$$

$$\frac{27'37 \times 6}{8} = 20'52 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 60\%.$$

Para estos dos últimos cultivos, cuyas curvas se han confeccionado con desarrollo radicular de 1'80 mts., la distribución de sus necesidades estacionales en profundidad son:

De 0 a 0'30	Algodón 39%	Remolacha 47%
0'30 a 0'60	" 20%	" 24%
0'60 a 0'90	" 16%	" 16%
0'90 a 1'20	" 12%	" 8%
1'20 a 1'50	" 7%	" 3%
1'50 a 1'80	" 6%	" 2%

En los dos cultivos la zona máxima de absorción son los 90 cms. primeros con el 75% algodón y 87% remolacha azucarera.

La curva de necesidades de la remolacha azucarera, presenta tres periodos de recolección final, segunda quincena de -- Abril con necesidad estacional $5267'50 \text{ m}^3/\text{Ha.}$, segunda quincena de Mayo con necesidad estacional $7492'60 \text{ m}^3/\text{Ha.}$, y segunda quincena de Junio con necesidad estacional $9659'20 \text{ m}^3/\text{Ha.}$

Periodos de recolección que si bien incrementan producción, también exigen mayor consumo o necesidad total de agua.

3.4. Necesidades en agua de frutales.

Pasamos ahora a mostrar las necesidades en agua o consuntivas en una gama de cultivos, con características de plantación y vegetativas distintas de las expuestas en los anteriores. Cultivos que se adaptan a las condiciones climáticas, que han regido la confección de los gráficos de necesidades mostrados.

Comenzamos con los cítricos y dentro de ellos, vamos a examinar las necesidades en agua para naranjo navel y toronja.

3.4.1. Necesidades en agua de naranjo navel.

El gráfico ha sido confeccionado con normativa similar a los anteriores. El gráfico nº 9 muestra las necesidades en agua para naranjo navel a lo largo de su ciclo vegetativo. Su examen destaca que el periodo de mayor demanda o necesidad, es la segunda quincena de Julio y primera de Agosto, con una necesidad de -- $68'58 \text{ mm.}$

Por día corresponde $\frac{68'58}{15} = 4'57 \text{ mm} = 45'70 \text{ m}^3/\text{Ha.}$ La necesidad o uso consuntivo estacional sin tener en cuenta la aportación de lluvias es $1015'14 \text{ mm} = 10.151'40 \text{ m}^3/\text{Ha.}$

Así mismo, el desarrollo radicular ha sido de $1'80 \text{ mts.}$ y el reparto de la necesidad estacional anterior en esta profun-

GRAFICO N° 9

19a

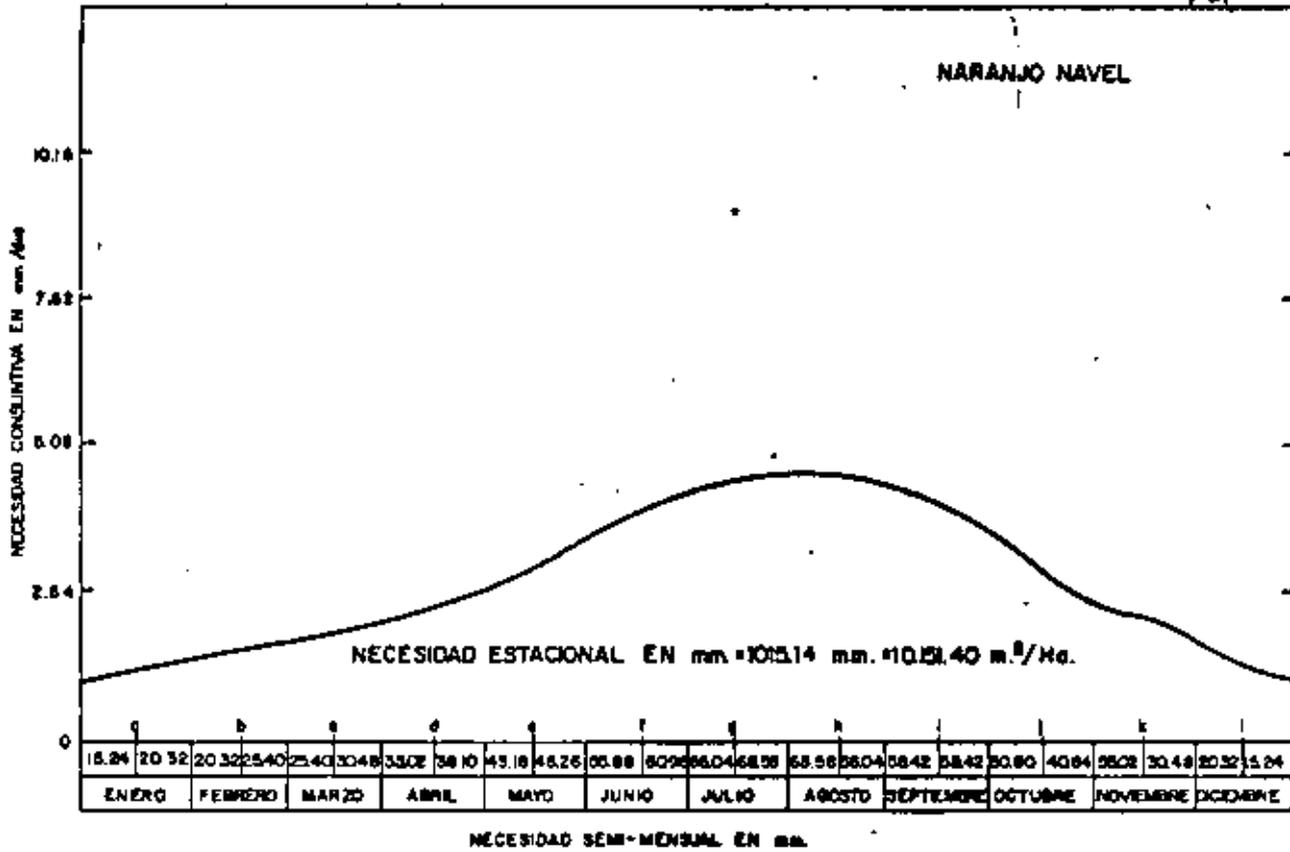
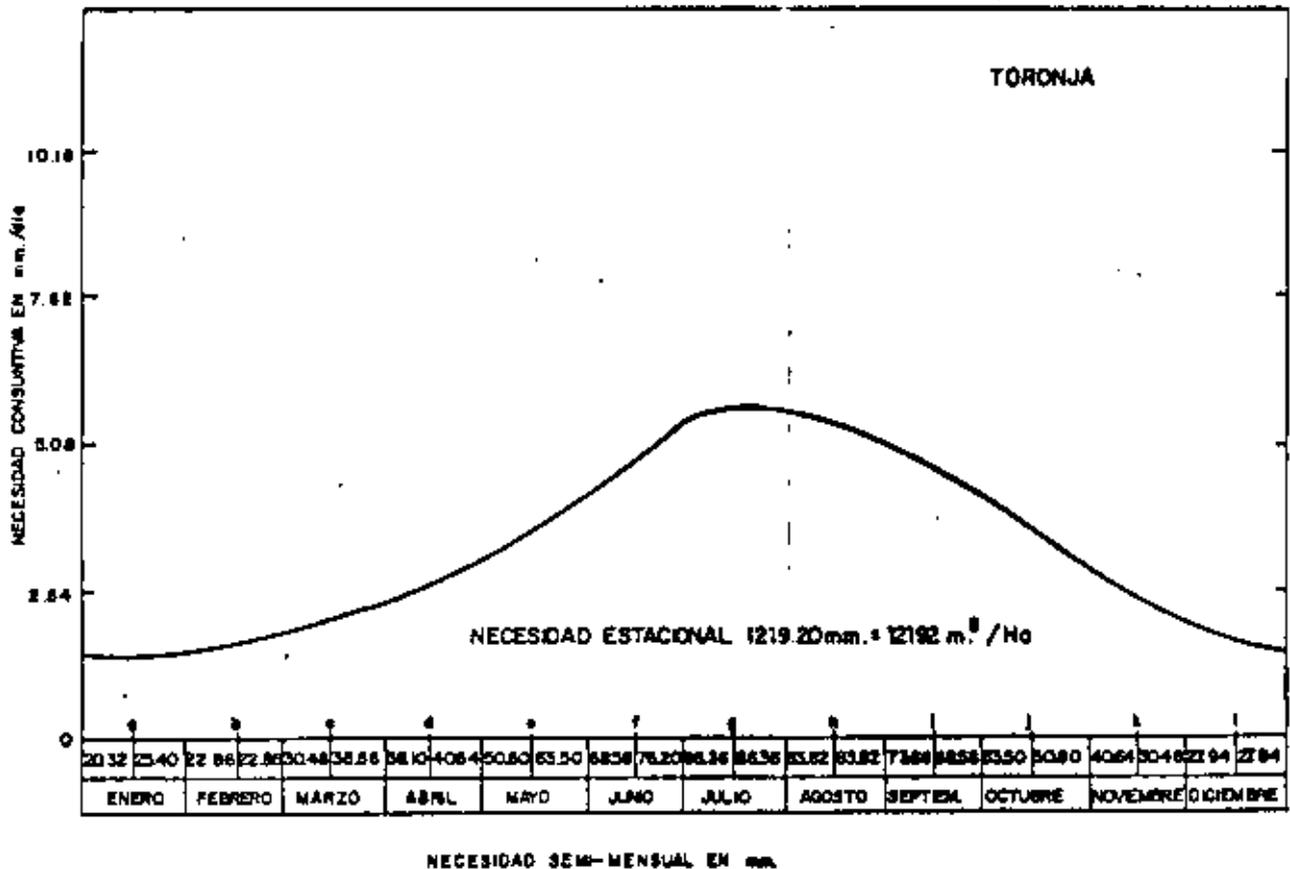


GRAFICO N° 10



didad ha sido

De 0 a 0'30 m.	el 44%	
De 0'30 a 0'60 m.	el 26%	Con ello, los 90 cms. pri-
De 0'60 a 0'90 m.	el 15%	meros, extraen el 85% de la ne-
De 0'90 a 1'20 m.	el 10%	cesidad estacional.
De 1'20 a 1'50 m.	el 4%	
De 1'50 a 1'80 m.	el 1%	

Si la dotación disponible es de 25 l./s. continuos, corresponde una aportación diaria de 2160 m³/Ha. día, y como el consumo máximo diario es de 45'70 m³/Ha. día puede atender en riego con este cultivo:

$$\frac{2160}{45'70} = 47'25 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 80\% \text{ y}$$

$$\frac{47'25 \times 6}{8} = 35'43 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 60\% .$$

3.4.2. Necesidades en agua de toronja.

El gráfico nº 10 muestra la necesidad estacional y su distribución semi-mensual para toronja. Su examen destaca que el periodo de mayor demanda o necesidad corresponde a la primera y segunda quincena del mes de Julio, con 86'36 mm., que por día -- representa $\frac{86'36}{15} = 5'75 \text{ mm./día} = 57'50 \text{ m}^3/\text{Ha. día}$. La necesidad o uso consuntivo estacional, sin tener en cuenta lluvias, es -- 1219'20 mm = 12'192 m³/Ha.

Asimismo, el desarrollo radicular ha sido de 1'80 mts. y el reparto de la necesidad estacional anterior en esta profundidad ha sido:

De 0 a 0'30 m.	el 37%	
De 0'30 a 0'60 m.	el 21%	Con ello, los 90 cms.
De 0'60 a 0'90 m.	el 19%	primeros, extraen el 77% -

De 0'90 a 1'20 m. el 14% de la necesidad estacional.
De 1'20 a 1'50 m. el 7% nal.

Si la dotación disponible es de 25 l./s. corresponden a una aportación diaria de 2160 m³/día y como el consumo diario es 5'75 mm./día = 57'50 m³/Ha. día, puede atender an riego con este cultivo

$$\frac{2160}{57'50} = 37'56 \text{ Has.}, \text{ con sistema de rendimiento } 80\% \text{ y}$$

$$\frac{37'56 \times 6}{8} = 28'17 \text{ Has.}, \text{ con sistema de rendimiento } 60\%.$$

3.4.3. Necesidades de viñedo para consumo en fresco.

El gráfico nº 11 muestra la necesidad estacional y su distribución semi-mensual para viñedo. Su examen muestra que el periodo de mayor demanda o necesidad es la segunda quincena de Mayo con 103'63 mm., que por día representa $\frac{103'63}{15} = 6'90$ mm./día = 69 m³/Ha. día. La necesidad o uso consuntivo estacional, sin tener en cuenta lluvias, es de 498'57 mm = 4985'70 m³/Ha.

Asimismo, el desarrollo radicular, ha sido de 1'80 mts. y el reparto de la necesidad estacional anterior, en profundidad, ha sido:

De 0 a 0'30 m.	el 35%	
De 0'30 a 0'60 m.	el 25%	Con ello, los 90 cms. -
De 0'60 a 0'90 m.	el 16%	primeros extraen el 76% de la
De 0'90 a 1'20 m.	el 13%	necesidad estacional.
De 1'20 a 1'50 m.	el 8%	
De 1'50 a 1'80 m.	el 3%	

Si la dotación disponible es de 25 l./s. continuos, corresponde a una aportación diaria de 2160 m³/día y como el consumo

GRAFICO N°11

2/a

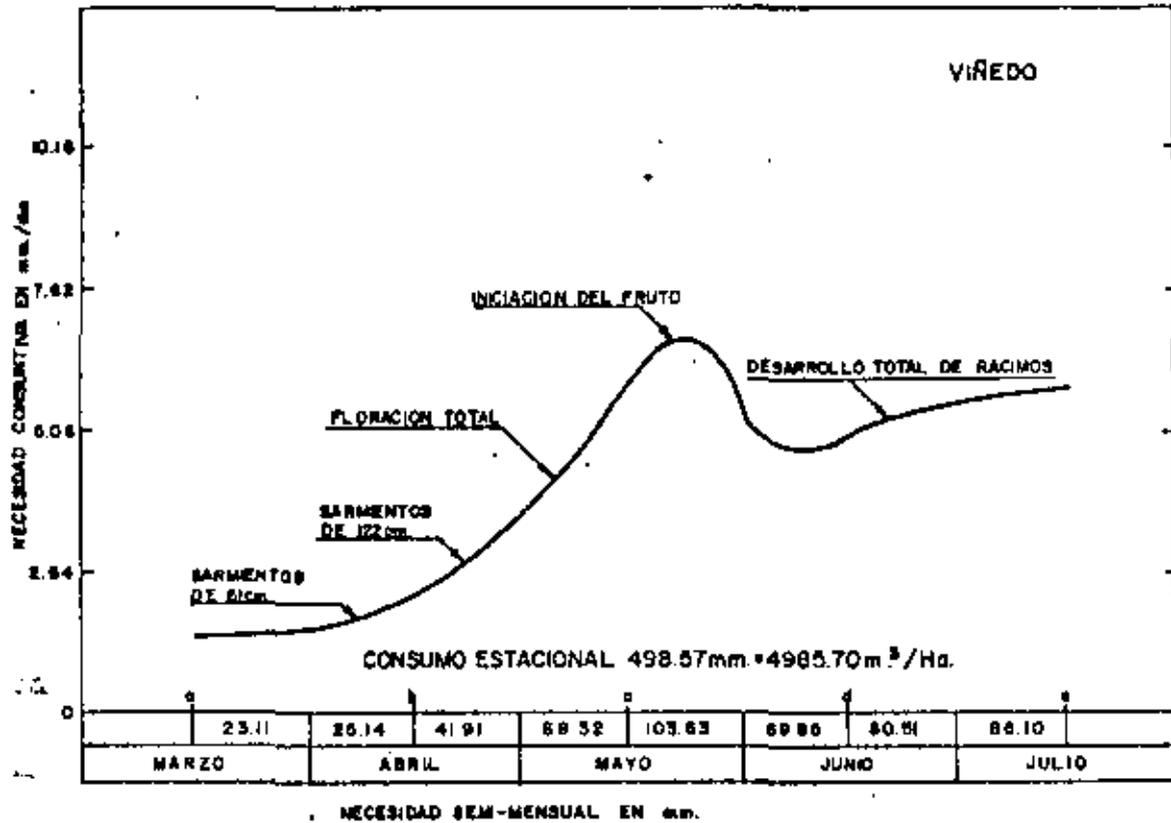
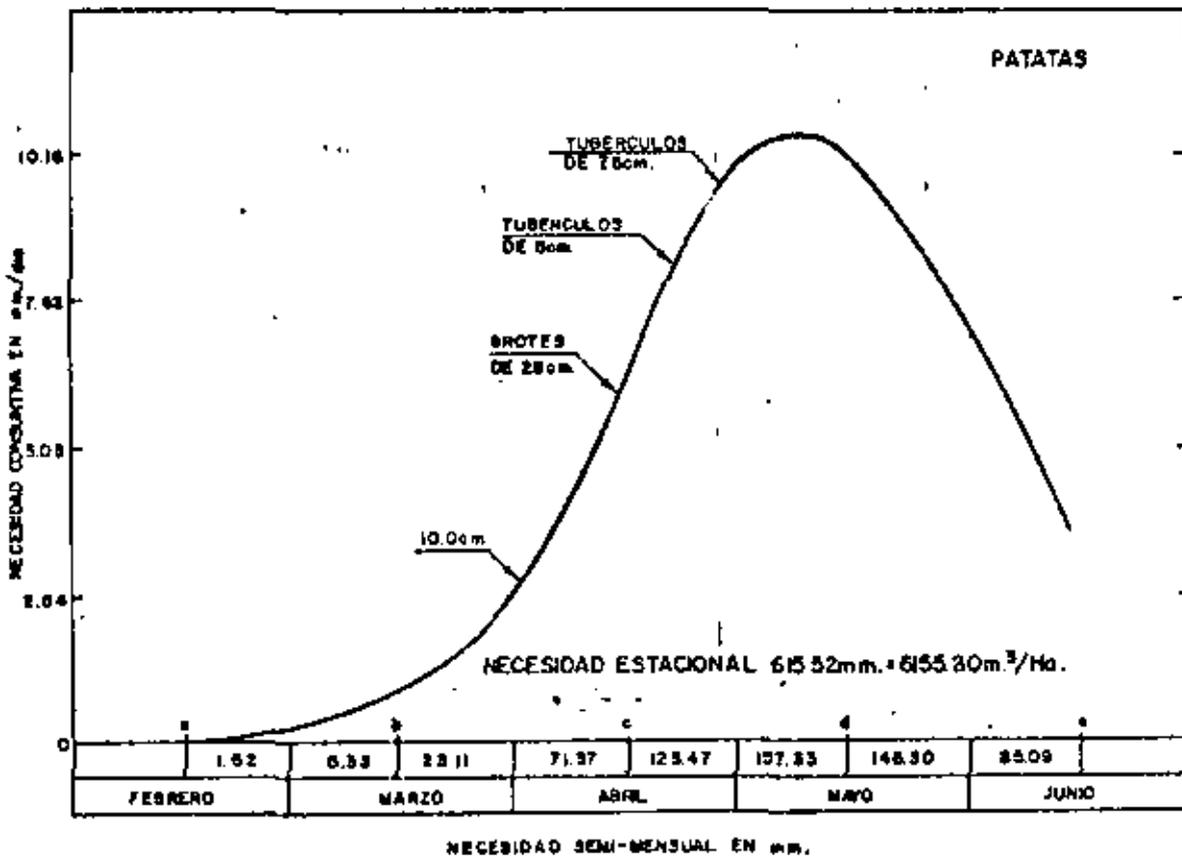


GRAFICO N°12



máximo diario es de $69 \text{ m}^3/\text{Ha. día}$, puede atender en riego con este cultivo $\frac{2160}{69} = 31'30 \text{ Has.}$, con sistema de riego el 80% y $\frac{3150 \times 6}{8} = 23'47 \text{ Has.}$, con sistema de riego 60% .

3.5. Necesidades en agua de tuberculos.

3.5.1. Necesidades en agua de patata temprana.

El gráfico nº 12 muestra la necesidad estacional y su distribución semi-mensual para patata temprana. Su examen muestra, que el periodo de mayor demanda o necesidad es la primera quincena de Mayo con $157'33 \text{ mm.}$, que por día representa $\frac{157'33}{15} = 10'48 \text{ mm/día} = 104'80 \text{ m}^3/\text{Ha. día}$. La necesidad o uso conjunto estacional, sin tener en cuenta lluvias, es de $615'52 \text{ mm} = 6155'20 \text{ m}^3/\text{Ha.}$

Asimismo, el desarrollo radicular ha sido de $1'20 \text{ mts.}$ y el reparto de la necesidad estacional anterior en profundidad, ha sido

De 0 a 0'30 m.	el 54%	Con ello, los 60 cms. --
De 0'30 a 0'60 m.	el 25%	primeros extraen el 79% de la
De 0'60 a 0'90 m.	el 15%	necesidad estacional.
De 0'90 a 1'20 m.	el 6%	

Si la dotación disponible es de $25 \text{ l./s. continuos}$, corresponde a una aportación diaria de $2160 \text{ m}^3/\text{día}$ y como el consumo diario es de $104'80 \text{ m}^3/\text{Ha.}$, puede atender en riego con este cultivo

$$\frac{2160}{104'80} = 20'61 \text{ Has. con sistema de riego 80% y}$$

$$\frac{20'61 \times 6}{8} = 15'45 \text{ Has. con sistema de riego 60% .}$$

El resumen de superficies dominadas para una misma dotación, con cítricos, viñedo, patata y melón, así como sus necesidades en agua o consuntivas estacionales es:

Dotación 25 l./s. continuos

Naranja Navel ...	47'25	Has.	Necesidad estacional	10151'40m ³ /Ha.
Toronja	37'56	"	"	12192'00 "
Viñedo	31'30	"	"	4985'70 "
Patata temprana	20'61	"	"	6155'20 "

Unido al hecho de que en naranja, toronja y viñedo los 90 cms. primeros de su desarrollo radicular extraen 85%, 77% y 76% de la necesidad estacional respectivamente y en patata temprana los 60 cms. extraen el 79%.

3.6. Necesidades en agua de cultivos hortícolas.

Siguiendo la exposición de necesidades de cultivos adaptables, el área de condiciones climáticas indicada al principio de este trabajo, vamos a exponer las que se refieren a cultivos hortícolas como melón (cantaloup), zanahorias, lechuga, cebollas y coliflor.

3.6.1. Necesidades en agua de melón (cantaloup).

El gráfico nº 13 muestra la necesidad estacional y su distribución semi-mensual para melón (cantaloup). Su examen muestra que el periodo de mayor demanda o necesidad, es la segunda quincena de Julio con 147'82 mm., que por día representa $\frac{147'82}{15} = 9'85$ mm/día = 98'50 m³/Ha. día. La necesidad o uso consuntivo estacional, sin tener en cuenta lluvias, es de 486'13 mm = 4861'30 m³/Ha.

GRAFICO N° 13

239

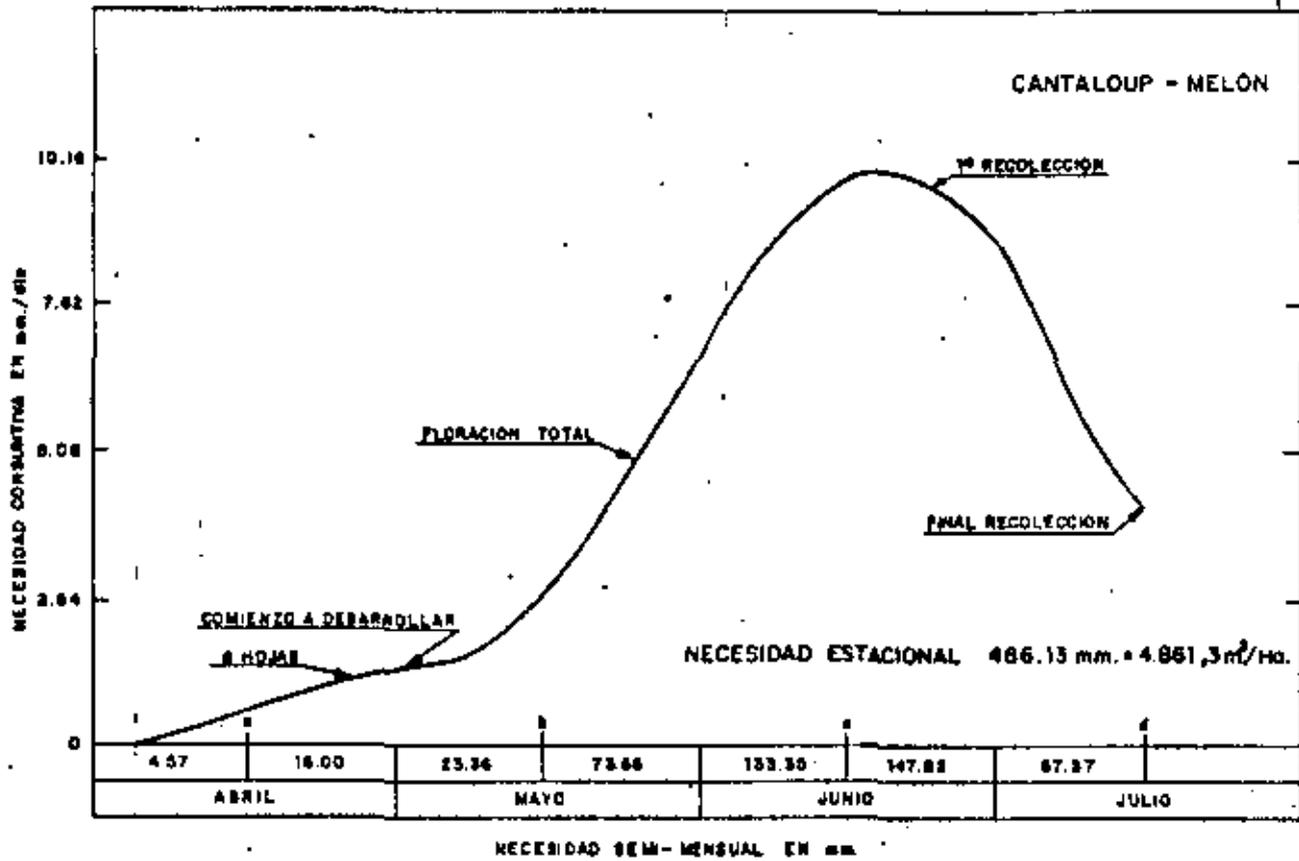
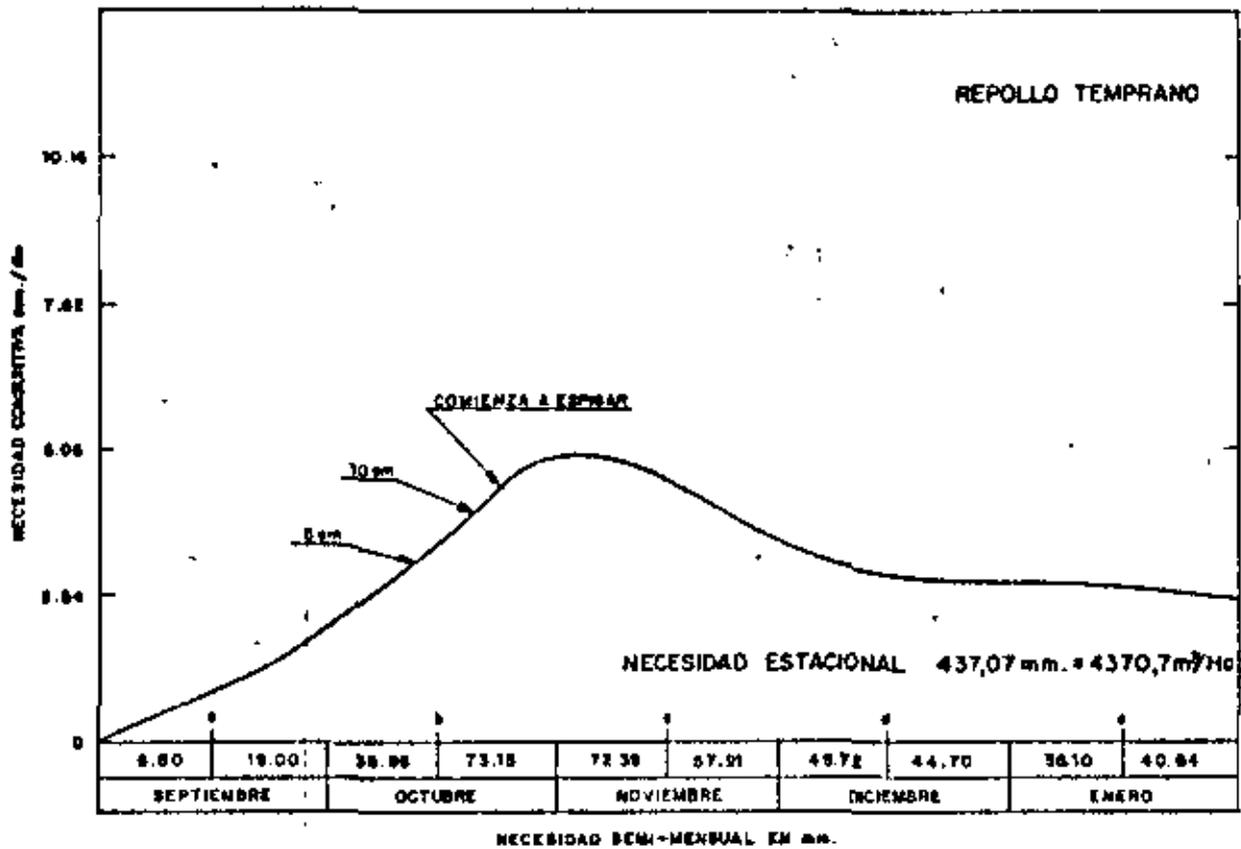


GRAFICO N° 14



Asimismo, el desarrollo radicular ha sido de 1'20 mts. y el reparto de la necesidad estacional anterior en esta profundidad ha sido

De 0 a 0'30 m.	el 38%	Con ello, los 60 cms. -
De 0'30 a 0'60 m.	el 31%	primeros extraen el 89% de la ne
De 0'60 a 0'90 m.	el 20%	cesidad estacional.
De 0'90 a 1'20 m.	el 11%	

Si la dotación disponible es de 25 l./s. continuos, corresponde a una aportación diaria de 2160 m³/día y como el consumo diario es de 98'50 m³/Ha. día, puede atender en riego con este cultivo

$$\frac{2160}{98'50} = 21'92 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 80\% \text{ y}$$

$$\frac{21'92 \times 6}{8} = 16'44 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 60\%.$$

3.6.2. Necesidades en agua de repollo temprano.

El gráfico nº 14 muestra la necesidad estacional y su distribución semi-mensual para repollo temprano. Su examen muestra que el periodo de mayor demanda o necesidad corresponde a la segunda quincena de Octubre con 73'15 mm., que por día representa - - - $\frac{73'15}{15} = 4'87 \text{ mm./día} = 48'70 \text{ m}^3/\text{Ha. día}$. La necesidad o uso conjunto estacional es de 437'07 mm = 4370'70 m³/Ha.

El desarrollo radicular observado ha sido de 1'20 mts. y el reparto de la necesidad estacional en esta profundidad ha sido

De 0 a 0'30 m.	el 62%	
De 0'30 a 0'60	el 25%	Con ello, los 60 cms.
De 0'60 a 0'90	el 9%	primeros extraen el 87% de la ne
De 0'90 a 1'20	el 4%	cesidad estacional.

Si la dotación disponible es de 25 l./s. continuos, corresponde 2160 m³/Ha. día y como el consumo máximo diario es de 48'70 m³/Ha. día puede atender en riego con este cultivo

$$\frac{2160}{48'70} = 44'35 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 80\% \text{ y}$$

$$\frac{44'35 \times 6}{8} = 33'26 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 60\%.$$

3.6.3. Necesidades en agua de repollo tardío.

El gráfico nº 15 muestra la necesidad estacional y su distribución semi-mensual para repollo tardío. Su examen muestra que el periodo de mayor demanda o necesidad corresponde a la segunda quincena de Octubre con 73'15 mm. que por día representa $\frac{73'15}{15} = 4'87 \text{ mm.} = 48'70 \text{ m}^3/\text{día}$. La necesidad o uso consuntivo estacional es de 622'44 mm. = 6224'40 m³/Ha.

El desarrollo radicular observado ha sido de 1'20 mts. y el reparto de la necesidad estacional en profundidad, ha sido

De 0 a 0'30 m.	el 60%	
De 0'30 a 0'60 m.	el 27%	Con ello, los 60 cms. pri
De 0'60 a 0'90 m.	el 9%	meros extraen el 87% de la necesi
De 0'90 a 1'20 m.	el 4%	dad estacional.

Si la dotación disponible es de 25 l./s. continuos, corresponde 2160 m³/día y como el consumo diario máximo es de 48'70 m³/Ha. día, puede atender en riego con este cultivo

$$\frac{2160}{48'70} = 44'35 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 80\% \text{ y}$$

$$\frac{44'35 \times 6}{8} = 33'26 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 60\%$$

GRAFICO Nº 15

25a

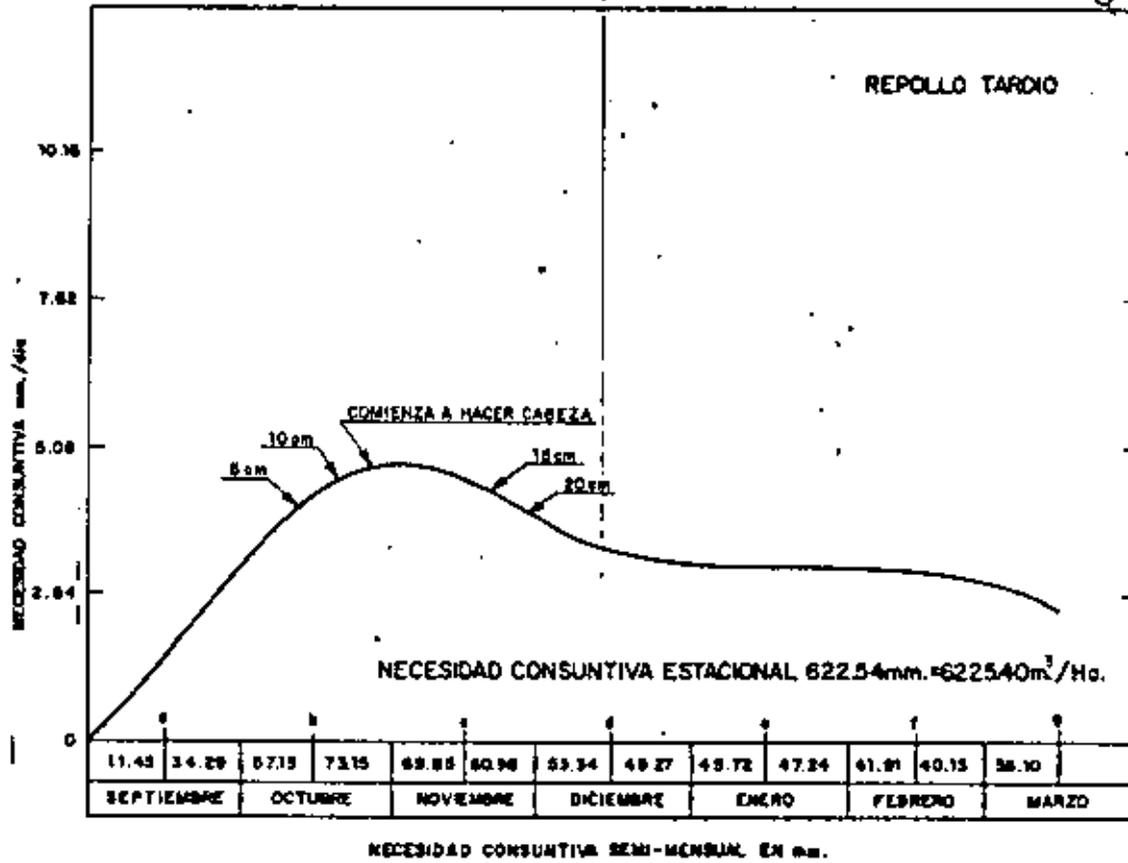
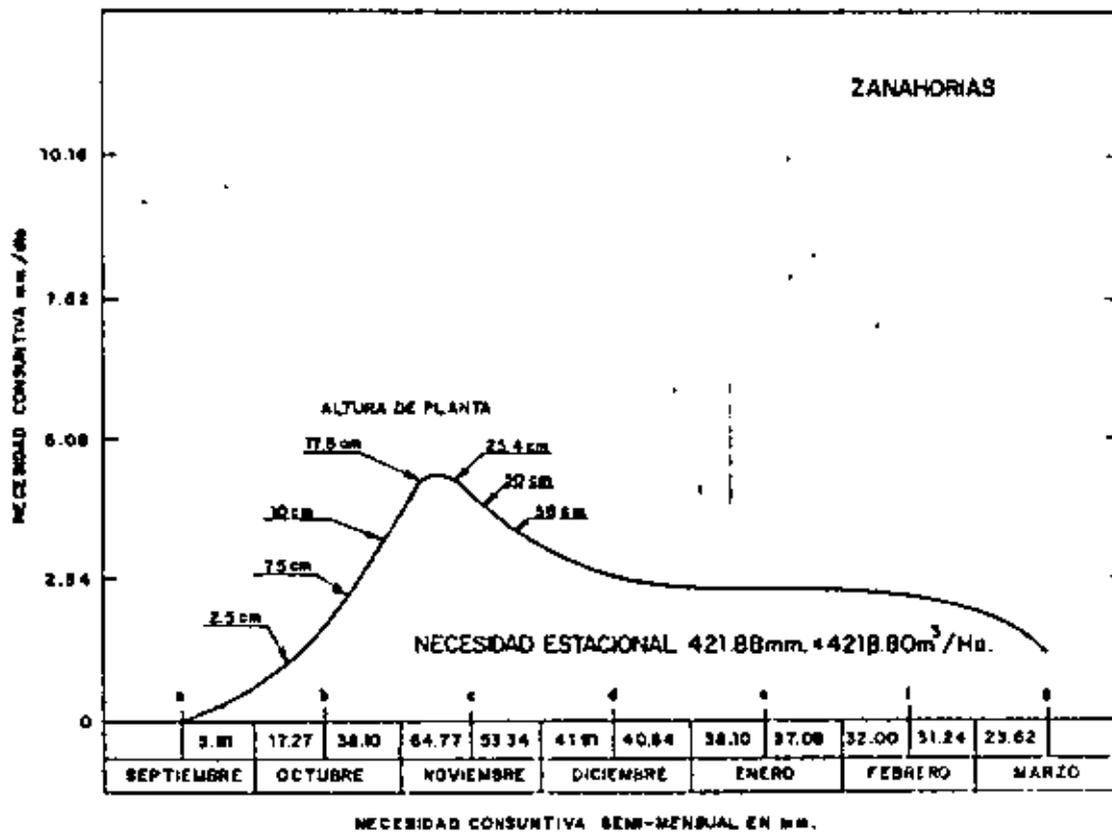


GRAFICO Nº 16



3.6.4. Necesidades en agua de zanahorias.

El gráfico nº 16 muestra la necesidad estacional y su distribución semi-mensual para zanahoria. Su examen muestra que el período de mayor demanda o necesidad es la primera quincena de Noviembre, con 64'77 mm., que por día representa $\frac{64'77}{15} = 4'31$ mm./día = 43'10 m³/Ha. día. La necesidad o uso consuntivo estacional es de 421'88 mm. = 4218'80 m³/Ha.

El desarrollo radicular observado ha sido de 0'90 mtu. y el reparto de la necesidad estacional el siguiente

De 0 a 0'30 m.	el 65%	Con ello, los 60 cms. primeros extraen el 89% de la necesidad consuntiva estacional.
De 0'30 a 0'60 m.	el 24%	
De 0'60 a 1'20 m.	el 11%	

Si la dotación disponible es de 25 l./s. continuos, corresponden 2160 m³/día y como el consumo diario máximo es de 43'10 m³/Ha. día, puede atender en riego con este cultivo $\frac{2160}{43'1} = 50'11$ Has. con sistema de rendimiento 80% y

$$\frac{50'11 \times 6}{8} = 37'58 \text{ Has. con sistema de rendimiento 60\%}.$$

3.6.5. Necesidades en agua de lechuga.

El gráfico nº 17 muestra la necesidad estacional y su distribución semi-mensual para lechuga. Su examen muestra que el período de mayor demanda o necesidad es la primera quincena de Diciembre con 44'70 mm. que corresponde por día a $\frac{44'70}{15} = 2'98$ mm./día = 29'80 m³/Ha. día. La necesidad o uso consuntivo estacional es de 214'80 mm = 2148 m³/Ha.

El desarrollo radicular observado ha sido de 0'90 mts.

GRAFICO N°17

26a.

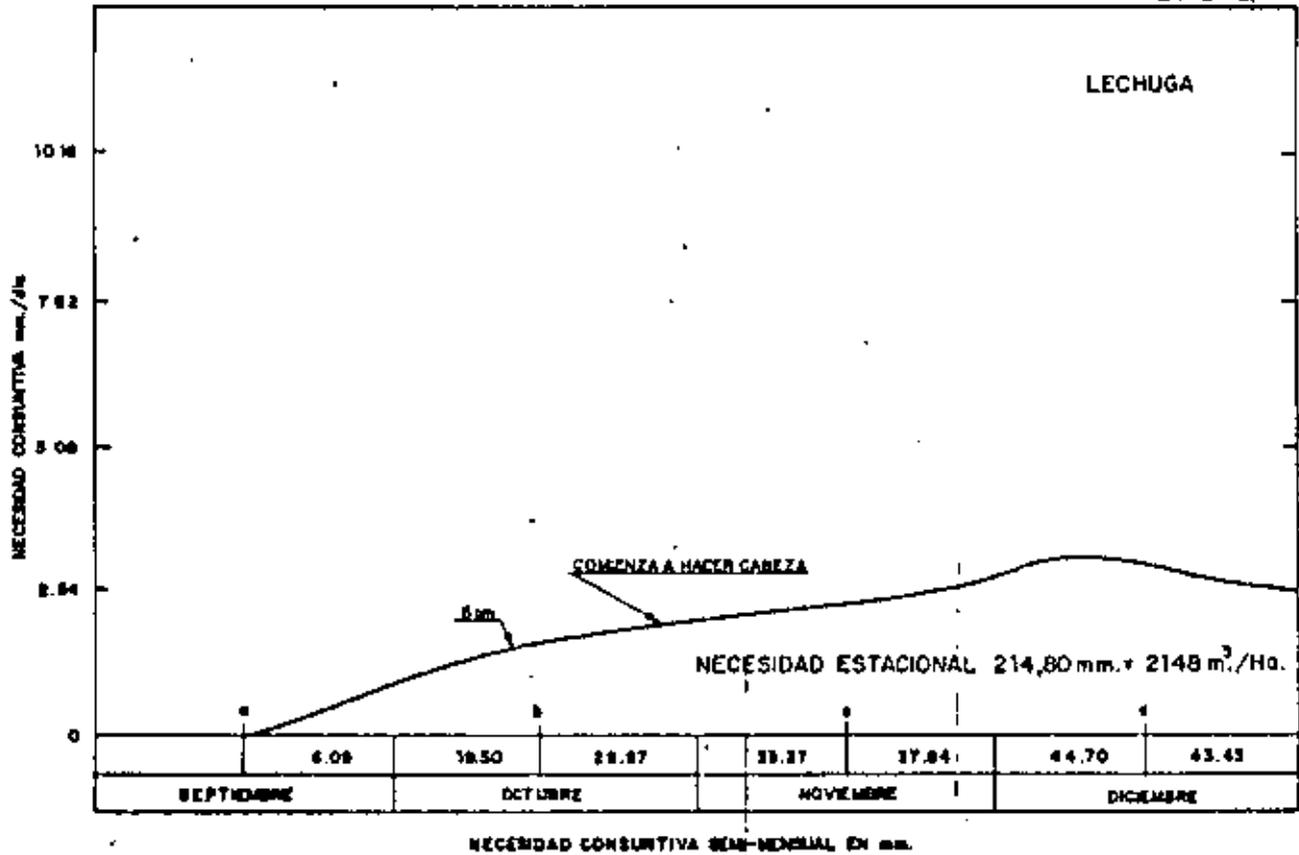
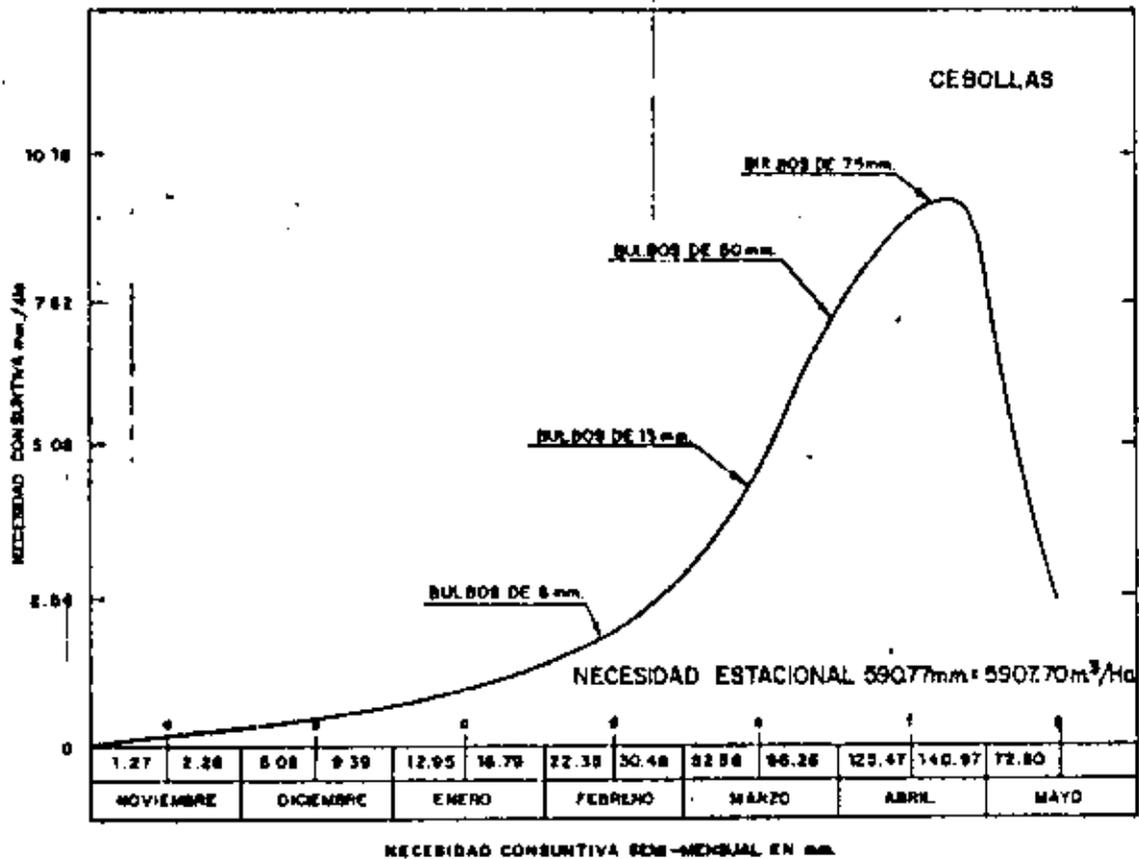


GRAFICO N°18



y el reparto de la necesidad estacional en profundidad ha sido

De 0 a 0'30 m.	el 56%	Con ello, los 60 cms. -
De 0'30 a 0'60 m.	el 33%	primeros extraen el 89% de la
De 0'60 a 0'90 m.	el 11%	necesidad estacional.

Si la dotación disponible es de 25 l./s. continuos, corresponde 2160 m³/día y como el consumo diario máximo es de - - - 29'80 m³/Ha. día, puede atender en riego con este cultivo

$$\frac{2160}{29'8} = 72'48 \text{ Ha. con sistema de rendimiento } 80\% \text{ y}$$

$$\frac{72'48}{8} = 54'36 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 60\%.$$

3.6.6. Necesidad en agua de cebolla.

El gráfico nº 18 muestra la necesidad estacional y su distribución semi-mensual para cebolla. Su examen muestra que el periodo de mayor demanda o necesidad es la segunda quincena de -- Abril con $\frac{140'97}{15} = 9'39$ m³/Ha. día. La necesidad o uso consuntivo estacional es de 590'77 mm = 5907'70 m³/Ha.

El desarrollo radicular obtenido ha sido de 0'90 mts. y el reparto de la necesidad estacional en profundidad ha sido

De 0 a 0'30 m.	el 59%	Con ello, los 60 cms. pri-
De 0'30 a 0'60 m.	el 28%	meros extraen el 87% de la necesi
De 0'60 a 0'90 m.	el 13%	dad estacional.

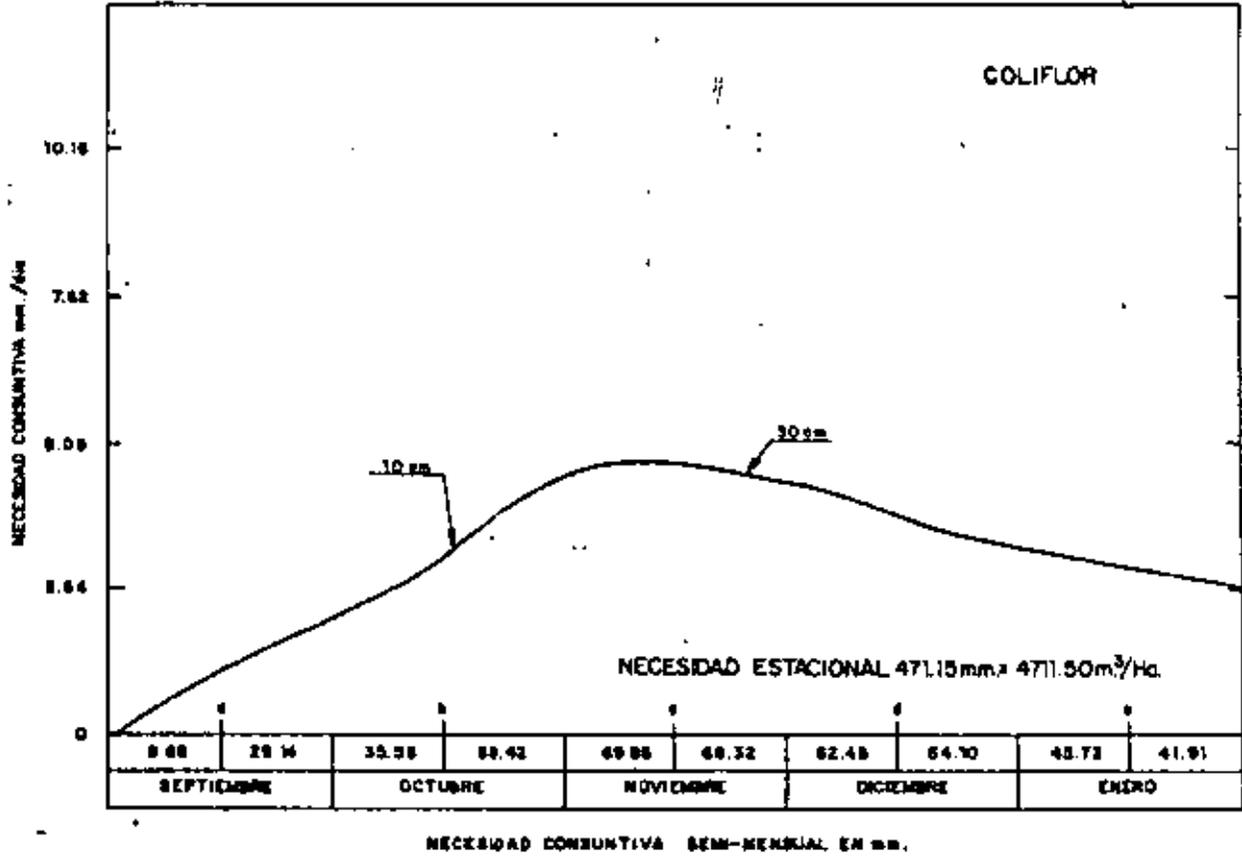
Si la dotación disponible es de 25 l./s. continuos, corresponde 2160 m³/día y como el consumo diario máximo es de - - - 93'90 m³/Ha. día, puede atender en riego con este cultivo

$$\frac{2160}{93'9} = 23 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 80\% \text{ y}$$

$$\frac{23 \times 6}{8} = 17'25 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 60\%.$$

GRAFICO Nº 19

27a



3.6.7. Necesidad en agua de coliflor.

El gráfico nº 19 muestra la necesidad estacional y su distribución semi-mensual para coliflor. Su examen muestra que el periodo de mayor demanda o necesidad es la primera quincena de Noviembre con 69'85 mm. que corresponde por día $\frac{69'85}{15} = 4'65 \text{ mm} = 46'50 \text{ m}^3/\text{Ha}$. La necesidad o uso consuntivo estacional es de - - - 471'15 mm. = 471'150 m³/Ha.

El desarrollo radicular observado ha sido de 1'20 mts. y el reparto en profundidad de la necesidad estacional ha sido

De 0 a 0'30 m.	el 57%	
De 0'30 a 0'90 m.	el 27%	Con ello, los 60 cms. -
De 0'90 a 1'20 m.	el 12%	primeros extraen el 84% de la ne-
De 1'20 a 1'50 m.	el 4%	cesidad estacional.

Si la dotación disponible es de 25 l./s. continuos, corresponde 2160 m³/día y como el consumo diario máximo es de - - - 46'50 m³/Ha. día, puede atender en riego con este cultivo

$$\frac{2160}{46'50} = 46'45 \text{ Ha. con sistema de rendimiento } 80\% \text{ y}$$

$$\frac{46'45 \times 6}{8} = 34'83 \text{ Has. con sistema de rendimiento } 60\%.$$

4. CONCLUSIONES DEL EXAMEN Y ANALISIS DE LAS NECESIDADES EXPUESTAS.

El resumen de las necesidades y superficies en riego que para una misma dotación de 25 l./s. pueden atenderse en riego para melón (cantaloup), repollo, zanahorias, lechuga, cebollas y coliflor es:

Melón (cantaloup)	21'92 Has.	4861'30 m ³ /Ha.
Repollo temprano	44'35 "	4370'70 "
" tardío	44'35 "	6224'40 "

Zanahoria	72'48 Has.	2148'00 m ³ /Ha.
Cebolla	23'00 "	5907'70 "
Coliflor	46'45 "	4711'50 "

El examen conjunto de los gráficos expuestos y sus resultados, cuya confección es una de las funciones específicas de la Dirección General de Obras Hidráulicas, a través de los Centros de Experimentación, adscritos a las Confederaciones Hidrográficas en ella integradas, muestra la disparidad que presenta la superficie en riego que para una misma dotación o suministro continuo en 24 horas disponible, puede un agricultor atender según cultivo. Asimismo, que no son los cultivos denominados extensivos o englobados en el concepto de menor intensidad en riego, los que permiten una mayor superficie para igual dotación.

En relación con la necesidad total estacional que se ha dado por cultivo, es la comprobada con el control de humedad en la profundidad de la zona radicular que ha precisado éste para su desarrollo. Por tanto, engloba agua aportada por riego y lluvia.

Con lo anterior, el consumo estacional que se da para cada cultivo, debe disminuirse para computar las necesidades de agua por suministro con riego, de las lluvias presentadas en cada periodo. En cambio para la demanda máxima por periodo, se computa para la zona estudiada, que en ese periodo no se presentan lluvias, cubriendo anomalías de este carácter que puede presentarse.

De esta forma, en el supuesto de un agricultor que disponga de una dotación de entrega captada por él, de aguas subterráneas o concedida por la administración de 25 litros por segundo continuos en 24 horas, se encuentra que para la gama de culti

vos expuesta, puede atender en riego, con sistema de rindimiento el 80%, las superficies siguientes:

<u>Cereales de invierno y granos para pienso</u>	<u>Superficie Ha.</u>	<u>Volumen total o estacio- nal por unidad de super. m³/Ha.</u>
Trigo	16'35	5824
Cebada	12'29	6420'9
Sorgo para grano ...	12'15	6451'5
<u>Cultivos forrajeros</u>		
Alfalfa	17'47	18.874
<u>Cultivos industriales</u>		
Lino	36'98	7.947'30
Cártamo	17'03	15.531'40
Algodón	21'86	10.465'20
Remolacha azucarera .	21'37	10.883'40
<u>Frutales</u>		
Naranja navel	47'25	10.151'40
Toronja	37'56	12.192'00
Viñedo para mesa ...	31'30	4.985'70
<u>Tuberculos</u>		
Patatas tempranas ..	20'61	6.155'20
<u>Cultivos hortícolas</u>		
Melón (cantaloup) ..	21'92	4.861'30
Repollo temprano ...	44'35	4.370'70
" tardío	44'35	6.224'40
Zanahorias	50'11	4.218'80
Lechuga	72'48	2.148'00
Cebolla	23'00	5.907,70
Coliflor	46'45	4.711'50

Disparidad de superficies y dotaciones o necesidades -- totales estacionales, estas últimas afectadas por las lluvias -- que puedan presentarse disminuyendo su aportación por riego, que destacan no solo la importancia sino necesidad de conocer por -- cultivos, el mes o periodo de demanda o necesidad máxima y necesidad total en agua que precisa para una producción máximo-económica.

Han sido base estos resultados para la normativa de -- aplicación práctica por el agricultor que damos a continuación.

5. METODO PARA DETERMINAR LAS NECESIDADES EN AGUA DE UN CULTIVO EN EL MES DE MAYOR DEMANDA O NECESIDAD CONSUNTIVA.

Los gráficos expuestos sobre necesidades en agua o consuntivas de diversos cultivos, que hemos dado anteriormente, son resultado de la recopilación de experiencias realizadas para determinar o mejor dicho comprobar fórmulas que puedan dar a conocer estas necesidades en función de datos climáticos. Asimismo, que estos datos fueran de fácil obtención, así como fiabilidad en su empleo.

Ha sido lo anterior base, para que en estas experiencias haya sido la fórmula ensayada la conocida por fórmula de Blaney-Criddle. Ensayos conducidos a determinar los factores correctores que su aplicación exige y que son base del Método que vamos a exponer para su utilización por el agricultor.

Como preámbulo del Método, vamos a comenzar describiendo la Fórmula y los factores que rigen su utilización. La fórmula está basada en la aplicación de dos datos climáticos de fácil obtención, uno la temperatura media que impera en el periodo que se

considera, y otro las horas de la luz en el mismo, expresadas - en tanto por ciento de las horas luz del año. Datos climáticos de fácil obtención por el agricultor, ya que en el primero basta para su obtención, disponer de termómetros de uso normal y termómetros y caseta para su instalación, que incluso con pluviómetro son facilitados por los Servicios Meteorológicos locales. En relación con el segunda se da la Tabla 1, que muestra, según la latitud de emplazamiento de la finca o zona de riego, el porcentaje de horas de luz mensuales respecto al total del año.

La fórmula, en base de los datos climáticos indicados, tiene la expresión siguiente:

$$f = \frac{P}{100} \left[45.72 \times t + 812.8 \right]$$

Siendo f = necesidad en agua o consuntiva para el periodo del año considerado, (mes ó 15 días de éste) expresado en mm. de altura de agua.

t = temperatura media mensual del periodo considerado, (mes o fracción de quince días de éste), en grados centígrados.

p = Porcentaje de horas de luz del periodo (mes o fracción de 15 días de éste), respecto al total del año.

La aplicación de esta fórmula, dá una necesidad o uso consuntivo que para cada periodo del desarrollo vegetativo de los cultivos experimentados se ha ido comprobando en campo, utilizando riego por aspersión para reponer el agua consumida por el cultivo, con elevado rendimiento en la aplicación del agua 80%. Esta reposición de humedad se realiza con control de su variación en el terreno, cuando su contenido descendía a porcentaje próximo al 60% de su capacidad total de almacenamiento.

Con ello en el periodo considerado tenemos un consumo f en mm. obtenido en base de datos climáticos, aplicando la fórmula de Blaney-Criddle y otro f_1 mm. el proporcionado por el equipo de riego por aspersión hasta reponer la humedad sustraída del terreno. Por tanto, estos dos consumos están ligados por $f_1 = k \times f$, - siendo $k = \frac{f_1}{f}$ factor de corrección de la fórmula. Estos factores son los que se dan en la Tabla 2 para la gama de cultivos ensayados. Factor de corrección k , calculado para periodos de 15 días de cada mes, es decir del 1 al 15 y del 15 al 30, habiendo considerado todos los meses a este fin de 30 días.

Con ello la necesidad real o consuntiva es

$$f_1 = k \times f = \frac{kp}{100} \left[45.72 \times t + 812.8 \right] \text{ mm.}$$

=====

Fórmula que será base del método, como veremos con ejemplos prácticos.

Se hace la salvedad que en el caso de aplicar periodos de 15 días, el valor de p porcentaje de horas de sol día en el área, se calculará en base de los datos de la Tabla nº 1 según latitud, que son porcentajes del mes como sigue. Valor o porcentaje de la Tabla nº 1 multiplicado por 15 y dividido por 30, es decir porcentajes de la Tabla x 15

30

Estos datos de iluminación, de poseerlos el agricultor en su propia zona de horas de sol, puede utilizarlos.

6. APLICACION DE LA METODOLOGIA EXPUESTA.

Para la aplicación práctica de la fórmula anterior, damos varios casos o ejemplos:

Primer caso:

Se trata de un agricultor, que posee una dotación o entrega continua de agua para el riego de 20 litros por segundo en 24 horas, y que tiene como cultivo básico de su explotación algodón. Desea conocer qué superficie con este cultivo puede atender en riego, a la vista del suministro o caudal continuo anterior, para obtener una buena producción y sin problemas de riego en el mes de mayor demanda o necesidad.

Este agricultor emplea como método de riego un sistema de superficie o gravedad, que tiene un rendimiento en la aplicación del agua del 60%.

En primer lugar, el agricultor ha observado que el periodo de mayor demanda o necesidad en riego de este cultivo, se presenta normalmente en la segunda quincena de Julio, coincidiendo con el cuaje total de la primera floración. Para este periodo dispone de datos de temperatura que dan una media para el mismo de 30° C.

El emplazamiento de su finca está en latitud Norte 38°. La Tabla nº 1, para el mes de Julio y latitud anterior de un porcentaje de iluminación del 10'10, valor que se adopta para esta quincena final de Julio como sigue: como 10'10 es para los 31 días de Julio, para 15 días es $\frac{15 \times 10'10}{31} = 4'88$.

La Tabla nº 2 da para algodón en esta segunda quincena de Julio como factor $k = 1'30$.

Aplicando la fórmula anterior,

$$f_1 = \frac{k \times p}{100} \left[45'72 \times t + 4'812'8 \right]$$

Con estos datos tenemos:

$$r_1 = \frac{1'30 \times 4'88}{100} \left[45'72 \times 30 + 812'8 \right] = 138'58 \text{ mm.}$$

Este consumo por día es:

$$\frac{138'58}{15} = 9'23 \text{ mm./día} = 92'30 \text{ m}^3/\text{Ha. día, al ser}$$

$$1 \text{ mm.} = 10 \text{ m}^3/\text{Ha.}$$

Ahora bien, este consumo o necesidad es para un sistema de riego con rendimiento del 80% y el que aplica tiene un rendimiento del 60%.

La necesidad diaria anterior de $92'30 \text{ m}^3/\text{Ha. día}$ debe multiplicarse por $\frac{0'8}{0'6} = \frac{4}{3}$

Por tanto necesidad diaria real

$$\frac{92'30 \times 4}{3} = \frac{369'2}{3} = 123'0 \text{ m}^3/\text{Ha. día.}$$

Como la dotación disponible es de 20 l./s. continuos en 24 horas, esto representa al día $20 \times 86.400 = 1728 \text{ m}^3/\text{día.}$

Por tanto, superficie que puede atender

$$S = \frac{1728}{123} = 14'04 \text{ Has.}$$

Segundo caso:

Si en lugar de algodón, considera como mejor enfoque productivo melones, variedad cantaloup, que tienen mayor demanda o necesidad de riego, coincidiendo con la iniciación de su recolección que es la segunda quincena de Junio. La Tabla n° 1 da para la latitud N 38° en este mes, $p = 10'01$ y la temperatura media de este periodo es de 25° C. El valor de p para periodos de 15 días es

$$\frac{10'01 \times 15}{30} = 5.$$

En la Tabla n° 2 para este periodo $k = 1'34$. Por tanto,

necesidad

$$r_1 = \frac{k \times P}{100} [45'72 \times t + 812'8] = \frac{1'34 \times 5}{100}$$

$$[45'72 \times 25 + 812'8] = 131'038 \text{ mm.}$$

Esto representa por día

$$\frac{131'038}{15} = 8'73 \text{ mm./día} = 87'30 \text{ m}^3/\text{Ha. día.}$$

Este consumo o necesidad es para un sistema de riego con rendimiento 80% y el que aplica tiene un rendimiento del 60%.

La necesidad anterior de 87'30 m³/Ha. día debe multiplicarse por $\frac{0'8}{0'6} = \frac{4}{3}$

Por tanto, necesidad real

$$\frac{87'30 \times 4}{3} = \frac{349'2}{3} = 116'4 \text{ m}^3/\text{Ha. día.}$$

Como la dotación disponible es de 20 l./s. continuos en 24 horas, esto representa al día 20 x 86.400 = 1728 m³/día.

Por tanto, superficie que puede atender

$$S = \frac{1728}{116'4} = \underline{\underline{14'84 \text{ Has.}}}$$

3er. Caso. El mismo agricultor que dispone de una dotación o caudal continuo de 20 l./s., considera conveniente tener en su superficie 50% de alfalfa y 30% de algodón, con 20% de remolacha azucarera. - Deseando conocer que superficie puede implantar de cada uno de los cultivos anteriores.

El área, como en los casos anteriores, se encuentra enclavada en Latitud N 38°.

Los cultivos considerados tienen los meses de mayor demanda o necesidad en los periodos siguientes:

Algodón 2ª quincena de Julio.
 Remolacha azucarera 2ª " de Mayo.
 Alfalfa 1ª " de Julio.

En estos periodos las temperaturas medias son:

1ª quincena de Julio 25º C.
 2ª quincena de Julio 30º C.
 2ª quincena de Mayo 20º C.

Según la tabla nº 1 los porcentajes de iluminación para estos periodos son :

Julio porcentaje para mes de 31 días 10'10
 Para periodo de 15 días $\frac{15 \times 10'10}{31} = 4'87$
 Mayo porcentaje para mes de 31 días 9'94
 Para periodo de 15 días $\frac{15 \times 9'94}{31} = 4'80$

Los coeficientes correctores para estos periodos en cada cultivo son Tabla 2:

	2ª quincena Mayo	1ª quincena Julio	2ª quincena Julio
<u>Algodón</u>	0'34	1'10	1'30
<u>Remolacha azucarera</u>	1'18	0'71	0'38
<u>Alfalfa</u>	1'42	1'30	1'16

Los casos son:

Consumo en 2ª quincena de Mayo los tantos por cientos de distribución son:

Algodón 30%
 Remolacha azucarera 20%
 Alfalfa 50%

Para 2ª quincena de Mayo el consumo f sin factor corrector es:

$$f = \frac{4'80}{100} [45'72 \times 20 + 812'8] = 82'905 \text{ mm.}$$

Para algodón

$$f_1 = 82'905 \text{ mm} \times 0'34 \text{ y como ocupa el } 30\% \quad \frac{30 \times 0'34 \times 82'905}{100} =$$

Para remolacha azucarera

$$f_1 = 82'905 \times 1'18 \text{ y como ocupa el } 20\% \quad \frac{20 \times 1'18 \times 82'905}{100}$$

Para alfalfa

$$f_1 = 82'905 \times 1'42 \text{ y como ocupa el } 50\% \quad \frac{50 \times 1'42 \times 82'905}{100}$$

Necesidad total suma de estos valores

$$82'905 [0'34 \times 0'3 + 1'18 \times 0'2 + 1'42 \times 0'5] =$$

$$82'905 \times 1'048 = 86'884 \text{ mm. por día } \frac{86'884}{15} = 5'79 \text{ mm./día} =$$

$$\underline{57'90 \text{ m}^3/\text{Ha. día}}$$

Para la 1ª quincena de Julio

$$f = \frac{4'87}{100} [45'72 \times 25 + 812'8] = 95'247 \text{ mm.}$$

Este consumo por cultivo con sus factores y porcentajes se reparte

Algodón:

$$f_1 = 95'247 \times 1'10 \text{ y como ocupa el } 30\% \quad \frac{30 \times 1'10 \times 95'247}{100}$$

Remolacha azucarera:

$$f_1 = 95'247 \times 0'71 \text{ y como ocupa el } 20\% \quad \frac{20 \times 0'71 \times 95'247}{100}$$

Alfalfa:

$$f_1 = 95'247 \times 1'30 \text{ y como ocupa el } 50\% \quad \frac{50 \times 1'30 \times 95'247}{100}$$

$$95'247 \left[1'10 \times 0'3 + 0'71 \times 0'2 + 1'30 \times 0'5 \right] = 95'247 \times 1'122 = 106'86 \text{ mm. que por día es } \frac{106'86}{15} = 7'12 \text{ mm./día} =$$

$$71'20 \text{ m}^3/\text{Ha. día.}$$

Para la segunda quincena de Julio

$$f = \frac{4'87}{100} \left[45'72 \times 30 + 812'8 \right] = 106'38 \text{ mm.}$$

Este consumo por cultivo con sus factores y porcentajes se reparte:

Algodón

$$f_1 = 106'38 \times 1'30 \text{ y como ocupa el } 30\% \quad \frac{30 \times 106'38 \times 1'30}{100}$$

Remolacha azucarera

$$f_1 = 106'38 \times 0'38 \text{ y como ocupa el } 20\% \quad \frac{20 \times 106'38 \times 0'38}{100}$$

Alfalfa

$$f_1 = 106'38 \times 1'16 \text{ y con ocupa el } 50\% \quad \frac{50 \times 106'38 \times 1'16}{100}$$

Necesidad total suma de estos valores

$$106'38 \left[1'30 \times 0'3 + 0'38 \times 0'2 + 1'16 \times 0'5 \right] = 106'38 \times 1'046 = 112'73 \text{ mm. por día } \frac{112'73}{15} = 7'51 \text{ mm./día} =$$

$$75'10 \text{ m}^3/\text{Ha. día.}$$

Corresponde el periodo de mayor demanda a la segunda quincena de Julio, con $75'10 \text{ m}^3/\text{Ha. día}$ con sistema de rendimiento 80%, como el que utiliza es del 60% consumo real

$$75'10 \times \frac{4}{3} = \frac{300'4}{3} = 100'1 \text{ m}^3/\text{Ha. día}$$

Como la aportación diaria es $20 \times 24 \times 3.600 =$

$$1728 \text{ m}^3/\text{día.}$$

$$\text{Superficie } S = \frac{1728}{100'1} = 17'26 \text{ Has. } \quad \%0$$

Por tanto, puede poder:

Algodón 5'178 Has. 30% de 17'26 Has.

Remolacha | azucarera 3'452 " 20% de 17'26 "

Alfalfa 8'650 " 50% de 17'26 "

$$17'26 \text{ Has.}$$

TABLEA NR 1

MESELE DE ALUNDI Y CRONOLE VALORES DE A.

(S DE ILUMINACION MENSUAL RESPECTO A LA ANUAL EN 40° LATITUD NORTE)

MESE	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	34°	35°	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°	44°	45°	46°	47°	48°	49°	50°	
Enero	7.00	7.04	7.08	7.12	7.16	7.20	7.24	7.28	7.32	7.36	7.40	7.44	7.48	7.52	7.56	7.60	7.64	7.68	7.72	7.76	7.80	7.84	7.88	7.92	7.96	8.00
Febrero	7.02	7.06	7.10	7.14	7.18	7.22	7.26	7.30	7.34	7.38	7.42	7.46	7.50	7.54	7.58	7.62	7.66	7.70	7.74	7.78	7.82	7.86	7.90	7.94	7.98	8.02
Mars	7.07	7.11	7.15	7.19	7.23	7.27	7.31	7.35	7.39	7.43	7.47	7.51	7.55	7.59	7.63	7.67	7.71	7.75	7.79	7.83	7.87	7.91	7.95	7.99	8.03	8.07
Abril	7.11	7.15	7.19	7.23	7.27	7.31	7.35	7.39	7.43	7.47	7.51	7.55	7.59	7.63	7.67	7.71	7.75	7.79	7.83	7.87	7.91	7.95	7.99	8.03	8.07	8.11
Mayo	7.15	7.19	7.23	7.27	7.31	7.35	7.39	7.43	7.47	7.51	7.55	7.59	7.63	7.67	7.71	7.75	7.79	7.83	7.87	7.91	7.95	7.99	8.03	8.07	8.11	8.15
Junio	7.19	7.23	7.27	7.31	7.35	7.39	7.43	7.47	7.51	7.55	7.59	7.63	7.67	7.71	7.75	7.79	7.83	7.87	7.91	7.95	7.99	8.03	8.07	8.11	8.15	8.19
Julio	7.23	7.27	7.31	7.35	7.39	7.43	7.47	7.51	7.55	7.59	7.63	7.67	7.71	7.75	7.79	7.83	7.87	7.91	7.95	7.99	8.03	8.07	8.11	8.15	8.19	8.23
Agosto	7.27	7.31	7.35	7.39	7.43	7.47	7.51	7.55	7.59	7.63	7.67	7.71	7.75	7.79	7.83	7.87	7.91	7.95	7.99	8.03	8.07	8.11	8.15	8.19	8.23	8.27
Septiembre	7.31	7.35	7.39	7.43	7.47	7.51	7.55	7.59	7.63	7.67	7.71	7.75	7.79	7.83	7.87	7.91	7.95	7.99	8.03	8.07	8.11	8.15	8.19	8.23	8.27	8.31
Octubre	7.35	7.39	7.43	7.47	7.51	7.55	7.59	7.63	7.67	7.71	7.75	7.79	7.83	7.87	7.91	7.95	7.99	8.03	8.07	8.11	8.15	8.19	8.23	8.27	8.31	8.35
Noviembre	7.39	7.43	7.47	7.51	7.55	7.59	7.63	7.67	7.71	7.75	7.79	7.83	7.87	7.91	7.95	7.99	8.03	8.07	8.11	8.15	8.19	8.23	8.27	8.31	8.35	8.39
Diciembre	7.43	7.47	7.51	7.55	7.59	7.63	7.67	7.71	7.75	7.79	7.83	7.87	7.91	7.95	7.99	8.03	8.07	8.11	8.15	8.19	8.23	8.27	8.31	8.35	8.39	8.43

TABLEA NR 2

	Enero	Febrero	Mars	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Calles	1-15	16-30	1-15	16-30	1-15	16-30	1-15	16-30	1-15	16-30	1-15	16-30
Grupos industriales												
Grupos de edificios												
Edificios industriales	0'14	0'25	0'32	0'40	0'50	1'20	1'70	1'91	1'22	0'58		
Edificios comerciales	0'25	0'30	0'39	0'49	1'19	1'38	1'68	1'24	0'58			
Edificios de oficinas					0'63	0'28	0'71	1'37	1'61	1'10	0'80	0'21
Edificios de viviendas												
Edificios industriales												
Linos	0'84	0'16	0'42	0'43	0'64	1'07	1'26	0'75	0'55	0'51	0'27	
Textiles	0'08	0'20	0'23	0'44	0'58	1'06	1'43	1'23	1'06	1'00	1'14	0'34
Algodon						0'68	0'11	0'28	0'34	0'58	0'19	1'18
Edificios de viviendas	0'16	0'16	0'41	0'56	0'62	0'93	1'14	1'23	1'14	1'02	0'71	0'38
Industria												
Edificios de viviendas			0'83	0'88	0'24	0'83	1'10	1'18	1'52	0'85		
Industria												
Edificios de viviendas	0'14	0'44	0'43	0'52	0'38	0'43	0'42	0'48	0'47	0'47	0'55	0'56
Edificios de oficinas	0'45	0'55	0'48	0'47	0'17	0'50	0'43	0'52	0'51	0'62	0'57	0'70
Edificios de viviendas					0'25	0'33	0'58	0'78	1'06	0'73	0'77	0'79
Industria												
Edificios de viviendas	0'19	0'80				0'06	0'20	0'17	0'70	1'32	1'34	0'11
Edificios de oficinas	1'07	0'95										
Edificios de viviendas	0'89	0'75	0'68	0'68	0'16							
Edificios de viviendas	0'30	0'30	0'46	0'61	0'95	1'50	1'18	1'11	0'85			



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



MECANIZACION Y AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

RELACIONES SUELO, AGUA, PLANTA

DR. FAUSTINO GARCIA LOZANO

JULIO, 1980



LECCION 1ª DEL PROGRAMA

RELACIONES SUELO, AGUA, PLANTA

2.- RELACIONES SUELO-AGUA-PLANTA

2.1.- ESTADOS DEL AGUA EN EL SUELO

Utilizando la nomenclatura y los conceptos clásicos, que son los expuestos en esta exposición, consideraremos el suelo como un medio poroso compuesto de partículas minerales y orgánicas, agua y aire. También existen en él organismos vivientes que juegan un importante papel.

Las propiedades físicas de un suelo se reflejan mediante los conceptos de textura y estructura. La textura indica la proporción relativa de los distintos tamaños de las partículas que componen el suelo; la estructura la disposición de las mismas. Ambas propiedades, junto con la composición química del suelo, ayudan a determinar el volumen y la configuración de los espacios aéreos y con ello el movimiento del agua en el suelo y la capacidad que éste tiene para almacenar el agua. Los factores anteriores también determinan la facilidad para el laboreo.

El agua existente en el suelo puede dividirse en agua de gravedad de capilaridad e higroscópica. El agua de gravedad, también llamada agua libre, es aquella que abandona el suelo bajo la influencia de las fuerzas de gravedad. El agua de capilaridad es retenida en el suelo, pese a la acción de la gravedad, como consecuencia de la tensión superficial de las películas de agua que rodean a las partículas del suelo. La textura del suelo es, por tanto, un factor importante en cuanto a la cantidad de agua capilar existente. El agua higroscópica está fuertemente retenida como consecuencia de las fuerzas de adsorción que se establecen al contacto agua-partícula de suelo.

Las fuerzas de adsorción y de capilaridad indican la tenacidad con que el agua es retenida por el suelo, y pueden ser englobadas bajo el concepto de tensión de humedad en el suelo. Dicha tensión indica la fuerza que debe ser aplicada para extraer el agua del suelo, (generalmente se expresa en atmósferas).

2.2.- CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITAMIENTO

Cuando el agua de gravedad ha abandonado el perfil del suelo, — se alcanza la denominada "capacidad de campo", que, por tanto, puede definir se como la tensión de humedad del suelo a la cual se ha cedido toda el agua libre. A esta situación se llega, generalmente, de uno a tres días después — de haberse realizado un riego abundante, dependiendo del tipo de suelo.

A partir de la capacidad de campo, y siempre que el suelo no reciba un nuevo aporte de agua, el contenido de humedad del suelo va decreciendo, en parte por el uso que de ella hace el cultivo y en parte por la evaporación que se produce. El punto en el cual la planta ya no puede utilizar el agua de capilaridad, sufriendo a consecuencia de ello un juicio irreversible, se denomina "punto de marchitamiento permanente".

2.3.- CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL SUELO

La diferencia entre los contenidos de humedad del suelo que corresponden a la capacidad de campo y al punto de marchitamiento, constituye la "capacidad de almacenamiento" de ese suelo, e indica la cantidad de agua que la planta puede utilizar para su supervivencia.

2.4.- DESCENSO TOLERABLE DE HUMEDAD

Al regar un cultivo no solo se persigue la supervivencia de éste, sino que se pretende que proporcione unos rendimientos elevados. Por — ello, hay que considerar que antes de descender el contenido de humedad al — punto de marchitamiento, se ha de pasar por un punto de menor humedad, a partir del cual el cultivo comienza a realizar un esfuerzo activo para conseguir absorber el agua del suelo; este esfuerzo lógicamente va de repercutir en la cosecha obtenida. La cantidad de agua entre el estado de capacidad de campo y este punto, ahora definido, corresponde a lo que se denomina "humedad fácilmente utilizable por las plantas" y puede ser consumida por ellas sin — quedar sometidas a un esfuerzo inadecuado. A partir de este punto, y hasta el de marchitamiento, el cultivo puede extraer agua para su supervivencia, pero su desarrollo vegetativo y radicular quedará frenado.

Si se asigna a la capacidad de campo el valor de descenso de humedad y al punto de marchitamiento el valor 100%, debe seleccionarse un valor que refleje el máximo deficit admisible de humedad y que corresponda al punto en el cual, si bien existe humedad, ésta comienza a ser fácilmente — utilizable por la planta. El agua de riego deberá suministrarse cada vez que la humedad del suelo alcance o sobrepase ese valor.

2.5.- DESARROLLO RADICULAR DE LOS CULTIVOS

Para poder determinar el espesor de suelo del cual el cultivo puede tomar el agua, es necesario conocer las características de su desarrollo radicular. A dicho espesor de suelo es al que hay que aplicar los conceptos indicados en los párrafos anteriores.

El sistema radicular del cultivo se desarrolla conforme avanza el ciclo vegetativo del mismo; las raíces van utilizando un espesor de suelo mayor para absorber el agua que, en cantidades también crecientes, va solicitando de la planta.

Es preciso, por tanto, poder evaluar, del modo más exacto posible, el desarrollo en profundidad del sistema radicular, a lo largo del período de riegos, hasta que alcanza su máximo crecimiento. La profundidad máxima a que penetran las raíces varía, a igualdad de suelo, según los cultivos, como puede verse en la Figura 1 (1).

El balance hídrico, citado en el apartado 1, debe ser aplicado, en cada momento, al espesor de suelo en el que el cultivo realiza su actividad radicular en dicho momento.

Debe tenerse también en cuenta, que una planta que se desarrolla en un suelo homogéneo, extrae agua siguiendo modelos similares a los que se muestran en la Figura 2 (2). Según se indica en ella, las raíces del maíz, por ejemplo, extraen aproximadamente un 42% de sus necesidades de agua del cuarto superior de la profundidad radicular, y el 28%, el 20% y el 10% respectivamente, del segundo cuarto, del tercer cuarto y del cuarto más profundo. El modelo resulta válido conforme se va desarrollando el sistema radicular a lo largo del ciclo vegetativo de la planta y puede ser empleado en las determinaciones del agua utilizable y de las cantidades de agua a aplicar en el riego.

El ritmo de extracción de humedad se incrementa conforme el sistema radicular se desarrolla y la demanda de la planta crece. Los intervalos de aplicación del agua deben reducirse y las cantidades suministradas han de ir aumentando progresivamente hasta que la planta haya formado plenamente toda su cobertura vegetal.

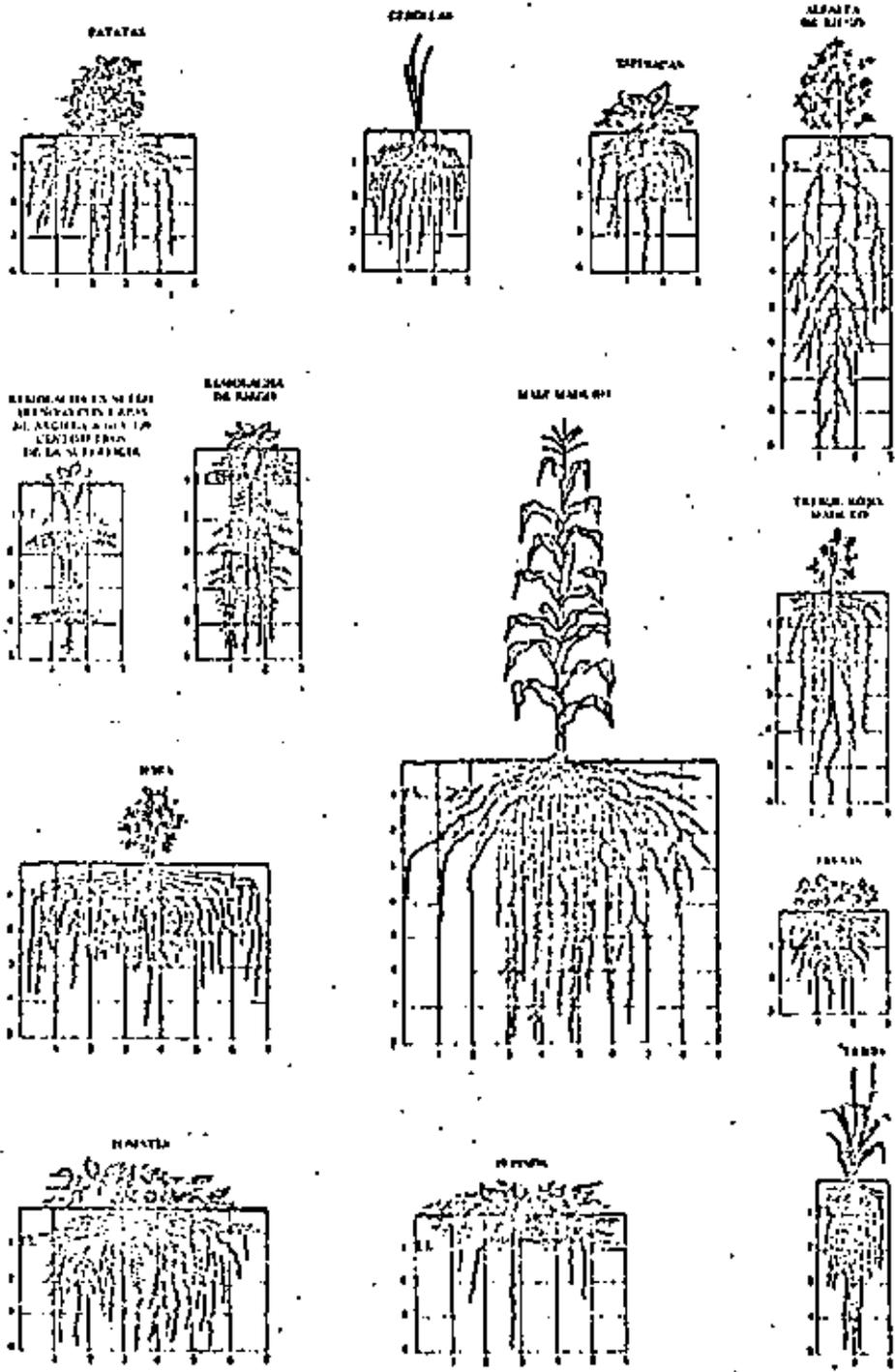
2.6.- DETERMINACION DE LOS PARAMETROS FISICOS DEL SUELO

2.6.1.- Textura

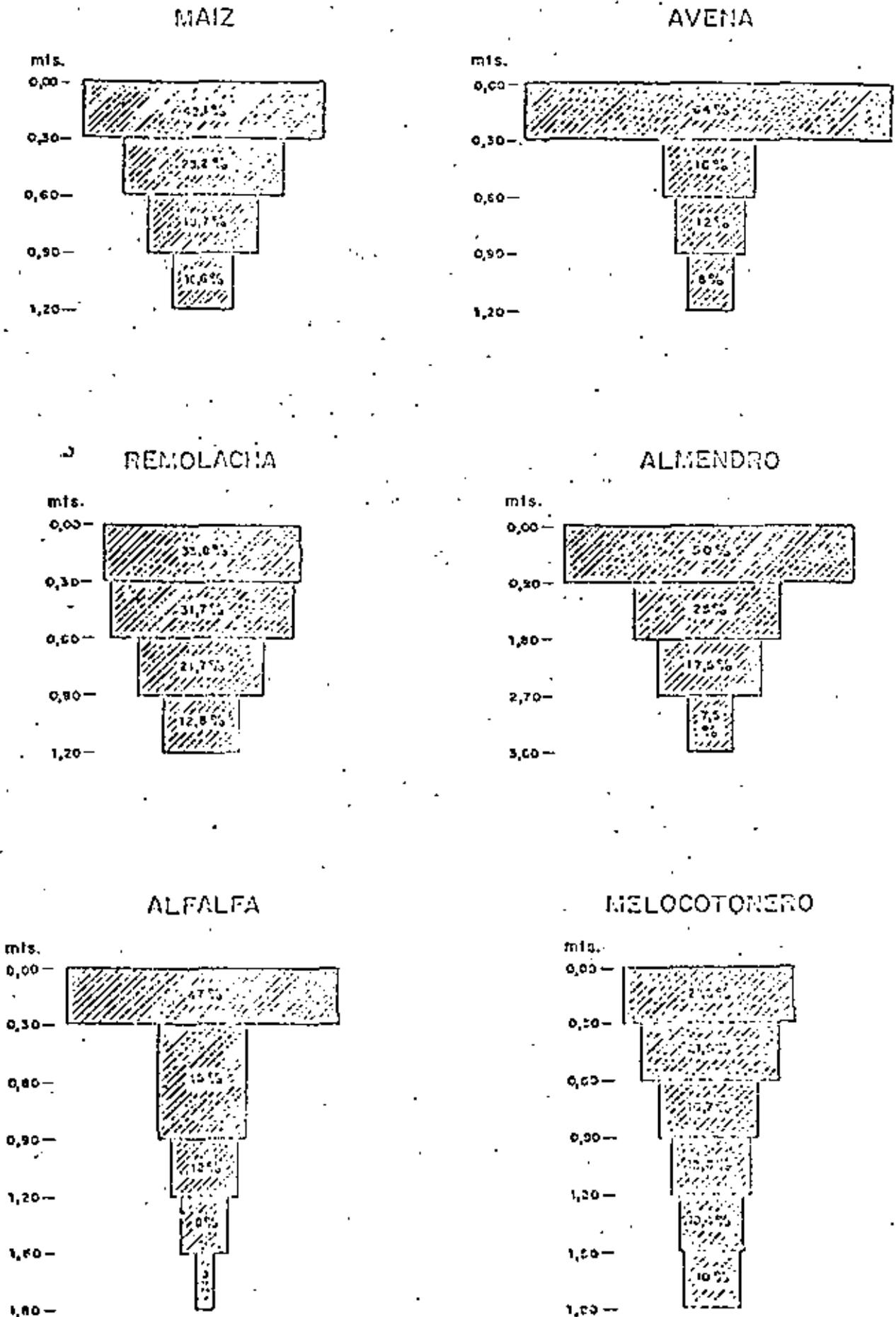
Aún cuando la textura del suelo no interviene directamente en los balances hídricos, su estrecha relación con los parámetros físicos del suelo hace conveniente su determinación.

Figura 1

DESARROLLO RADICULAR DE ALGUNOS CULTIVOS EN SUELOS PROFUNDOS (U.S.D.A. Manual de Ingenieria de suelos,1972)



MODELOS DE EXTRACCION DE HUMEDAD (Sprinkler irrigation, 1969)



Ya anteriormente se indicó que la textura viene determinada por el tamaño de las partículas del suelo. El United States Department of Agricultura indica los siguientes límites para la clasificación de dichas partículas.

	<u>Diámetro (mm)</u>
Elementos gruesos	> 2
Arena muy gruesa	2,0 - 1,0
Arena gruesa	1,0 - 0,5
Arena media	0,5 - 0,25
Arena fina	0,25 - 0,10
Arena muy fina	0,10 - 0,05
Limo	0,05 - 0,002
Arcilla	< 0,002

Los diferentes tipos de textura de los suelos se basan en diferentes combinaciones de arena, limo y arcilla. Las clases fundamentales que se utilizan se basan en la distribución por tamaños y se muestran en la Figura 3 por medio del denominado triángulo de textura, que se divide en doce regiones separadas unas de otras por líneas gruesas. Cada una de estas regiones corresponde a una clase de textura cuya designación se indica en la citada Figura 3.

La clasificación de las partículas por tamaños debe hacerse en el laboratorio (3); una vez que se dispone de los resultados, éstos deben introducirse en el triángulo para obtener la textura del suelo. La suma de los porcentajes de arena, limo y arcilla en cualquier punto del triángulo es 100. El punto A representa: 15% de arcilla, 65% de arena y 20% de limo, y le corresponde una textura franco arcillosa.

La textura puede determinarse en el campo, de un modo aproximado, mediante un examen al tacto. La descripción general de las clases de textura que de ese modo pueden obtenerse, figura en el Anexo nº 1 (4); los resultados hallados pueden comprobarse posteriormente en el laboratorio si se considera conveniente.

2.6.2. - Densidad aparente

Es la relación entre la masa de una muestra de suelo seco (desecado a 105°) y el volumen que ocupa dicha muestra. En el volumen se incluye el ocupado por las propias partículas y el espacio poroso, generalmente se expresa en gr/cm³.

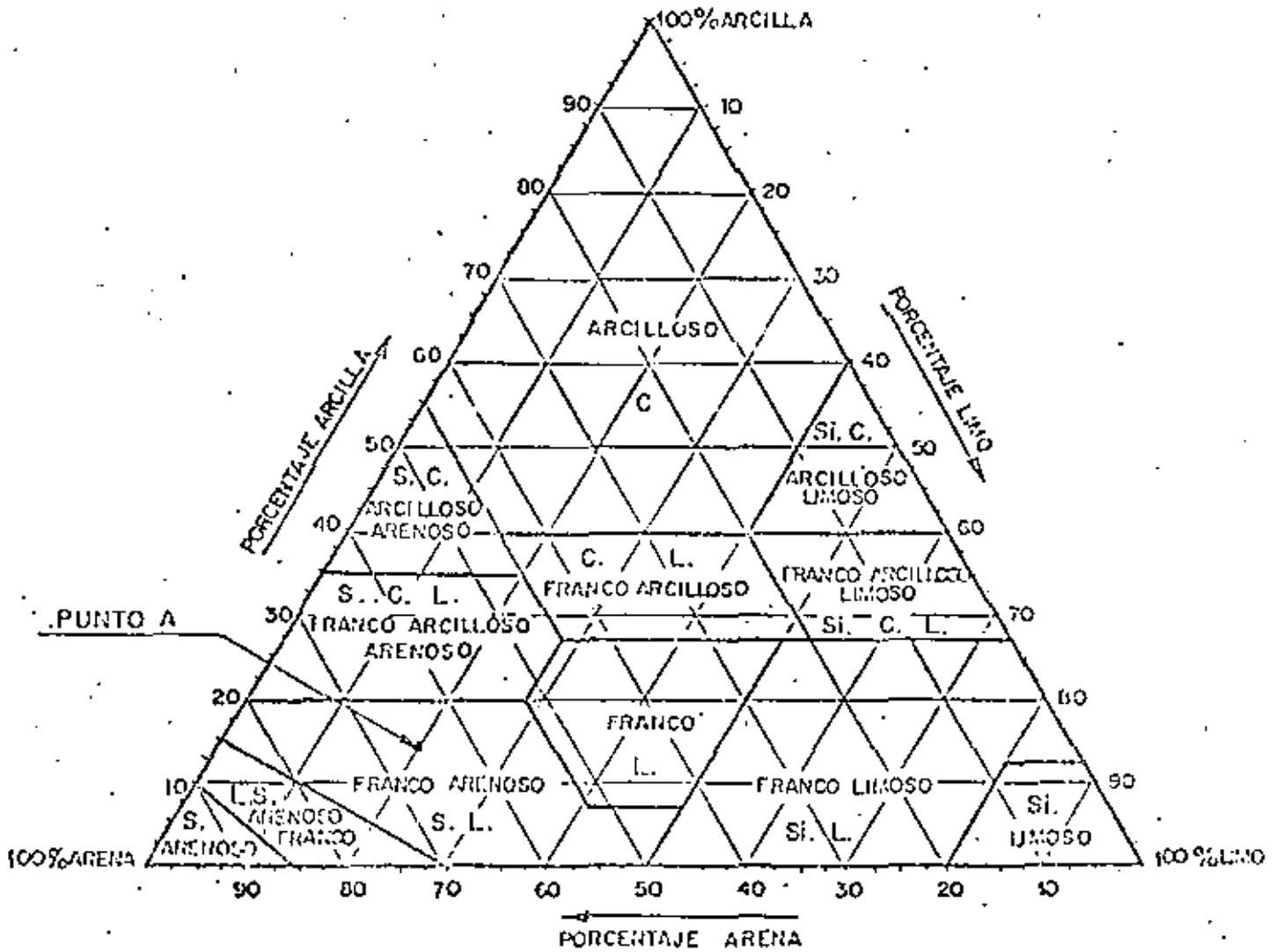
La densidad aparente no tiene un valor constante para un suelo dado, sino que varía con su estructura y particularmente con la compactación.

FIGURA 3

CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRAFICOS

7

GUIA PARA CLASIFICAR LOS SUELOS SEGUN LA
TEXTURA



Cuando un suelo, que tiene una cierta densidad aparente, se compacta, la separación entre las partículas se reduce, incrementándose en consecuencia la densidad aparente.

Su valor puede determinarse en laboratorio (3); previamente deberá tomarse una muestra de suelo sin destruir la estructura del mismo.

Puede determinarse "in situ" utilizando la técnica de absorción de rayos gamma; basada en el principio de que la absorción es independiente de la composición química del suelo, mientras que depende casi totalmente de la densidad. La determinación que se realiza corresponde a la combinación de los componentes sólidos, líquidos y gaseosos de la masa del suelo. La densidad de los gaseosos es despreciable frente a la de los líquidos y sólidos, pero es preciso determinar el contenido de agua para aplicar una corrección y obtener la correspondiente al suelo seco.

El aparato normalmente utilizado para aplicar esta técnica consta de una fuente y un detector de rayos gamma y se introduce en un tubo metálico que le permite descender hasta la profundidad deseada; mediante un contador situado en superficie, que registra los impulsos, y utilizando la correspondiente curva de calibrado, se determina la densidad aparente del suelo húmedo, a la que hay que restar la densidad del agua contenida en la muestra. Normalmente, cuando se utiliza la técnica de rayos gamma para obtener la densidad aparente, el contenido de agua del suelo se obtiene mediante una sonda de neutrones (véase 2.6.3); puesto que la sonda proporciona la fracción del volumen de suelo ocupada por el agua, la expresión de la densidad aparente del suelo seco será:

$$d_a = d'_a - \rho_{H_2O} \times F_{H_2O}$$

en el cual:

d_a = densidad aparente correspondiente a suelo seco

d'_a = densidad aparente correspondiente a suelo húmedo

ρ_{H_2O} = densidad del agua a la temperatura del ensayo (a temperaturas normales, el suponer $\rho_{H_2O} = 1$ introduce un error despreciable).

F_{H_2O} = fracción del volumen de suelo ocupada por el agua, (tanto por 1), que se habrá determinado por medio de una sonda de neutrones.

Los valores de densidad aparente que se incluyen a continuación pueden considerarse como orientativos.

<u>Textura</u>	<u>da (gr/cm³)</u>
Arenosa	1,65
Franco arenosa	1,50
Franca	1,35
Franco limosa	1,30
Franco arcillosa	1,20
Arcillosa	1,10

2.6.3.- El contenido de humedad del suelo

Es frecuente expresar la humedad de una muestra de suelo, mediante la relación (expresada en porcentaje) entre la masa de agua que contiene y la masa de suelo seco, es decir:

$$H_m = \frac{m_1}{m} \times 100$$

en la cual:

m_1 = masa de agua contenida en la muestra

m = masa de suelo seco de la muestra

Es interesante relacionar el contenido de agua no con la masa de suelo, sino con el volumen que éste ocupa en el terreno. Para ello se utiliza la relación:

$$H_v = \frac{v_1}{V} \times 100$$

en la cual:

v_1 = volumen de agua contenida en la muestra

V = volumen total de la muestra

Ambas expresiones de la humedad del suelo están ligadas por la relación:

$$H_v = H_m \times da$$

La razón de la conversión anterior, de porcentaje en masa a porcentaje en volumen, es facilitar la expresión de la humedad del suelo mediante el tiras de agua, lo que, como se verá posteriormente, facilita todos los cálculos a realizar.

Dividiendo por cien (para expresarlo en tanto por uno) y multiplicando por el espesor de suelo considerado, se tiene la altura de agua contenida en dicho espesor de suelo.

Ejemplo 1.- Determinar el contenido de agua, expresado en cm. de altura, que corresponde a un espesor de suelo de 30 cm., del cual se ha tomado una muestra cuyo análisis ha dado los siguientes resultados:

$$H_m = 18\%; \quad d_a = 1,40 \text{ gr/cm}^3$$

$$H_v = 18 \times 1,40 = 25,2\%$$

$$\text{Altura de agua en los 30 cm de suelo} = \frac{25,2}{100} \times 30 = 7,56 \text{ cm.}$$

Tal valoración de la humedad del suelo, puede obtenerse por diversos métodos según se expone a continuación.

2.6.3.1.- Método gravimétrico de laboratorio

La determinación de la humedad como relación de masas se efectúa tomando muestras de suelo, mediante una sonda, a las profundidades que correspondan. Cada muestra se coloca en un recipiente, seco y limpio, e inmediatamente se tapa. Se pesa el recipiente con la muestra y se anota el resultado (P₁). Después se deseca la muestra en estufa a 105° C durante 24 horas. Se tapa el recipiente y se deja enfriar en un desecador que contenga clorato cálcico. Se pesa de nuevo el recipiente con la muestra de suelo desecada y se anota el peso (P₂). Por último se pesa el recipiente vacío (P₃).

El contenido de humedad es entonces:

$$H_m = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_3} \times 100$$

2.6.3.2.- Métodos de campo para el control de la humedad del suelo

El procedimiento anterior requiere un cierto tiempo para obtener los resultados y además resulta costoso, por lo que, en general, sólo se emplea con fines experimentales.

Con intención de superar las dificultades prácticas del procedimiento anterior, se utilizan diversos métodos, que se exponen a continuación, para controlar el estado de humedad del suelo.

2.6.3.2.1.- Tensión de la humedad en el suelo. Tensiómetros

Para extraer el agua del suelo se requiere energía. La fuerza con que el suelo retiene el agua, depende de la cantidad de ésta, de modo que — cuanto menor es la cantidad de agua mayor es la tensión retentiva.

La tensión de la humedad del suelo es una medida de la tenacidad con que el agua es retenida en el suelo y representa la fuerza por unidad de superficie que debe aplicarse para extraerla. En general se expresa en atmósferas.

La expresión de una tensión de humedad del suelo, no indica la — cantidad de agua que contiene, sino la facilidad o dificultad con que el agua es extraída de él. Para determinar el contenido de humedad que un suelo cualquiera retiene a las diversas tensiones, pueden obtenerse las denominadas curvas de extracción de humedad, relacionando la tensión en atmósferas con el — contenido de humedad en porcentaje, en peso.

En la Figura 4 se incluyen las curvas correspondientes a tres tipos de suelos. En ellas se muestra como aumenta la tensión conforme decrece — la humedad; puede verse también, como, para una determinada tensión, el contenido de agua es mayor en los suelos pesados.

El tensiómetro es un instrumento sencillo constituido por una capsula porosa unida por medio de un tubo cerrado a un medidor de vacío o a un — manómetro de mercurio. Una vez lleno de agua se introduce en el suelo, haciendo llegar la capsula porosa hasta la profundidad deseada.

Si el suelo no está saturado, parte del agua pasa a él a través — de la capsula porosa y la que queda en el instrumento está sometida a una tensión (o succión) creciente. Al aumentar esta tensión, el paso del agua al terreno se reduce gradualmente hasta que se detiene, lo que indica que se ha — llegado a una situación de equilibrio. La tensión, leída directamente en el — medidor, que corresponde a este estado de equilibrio, indica aquello a la que está retenida el agua a la profundidad considerada.

El humedecimiento del terreno, que proporciona el riego, hace que se inicie el proceso inverso, es decir, el paso del agua del suelo al interior del tensiómetro a través de la capsula porosa. En el momento en que se llega a un nuevo equilibrio, el manómetro indica la tensión a la que el agua está retenida en el suelo a la profundidad deseada.

La mayoría de los tensiómetros están calibrados de 0 a 100 centímetros (o a 1 atmósfera) pero solamente pueden operar con suficiente garantía del 0 a 85. Cuando la tensión es superior, el aire penetra a través de los 12



Foto 1. TENSÍMETRO



Foto 2. ELECTROMETRO



Foto 3. Sonda de Neutrones

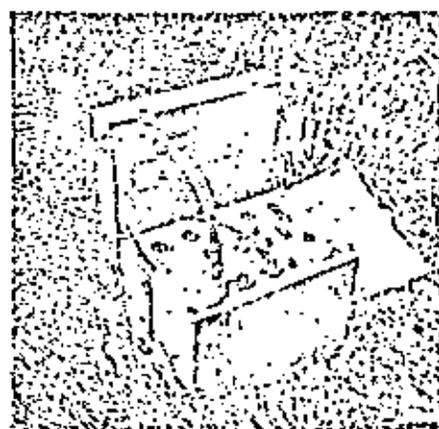


Foto 4. CONTADOR DE NEUTRONES LENTOS

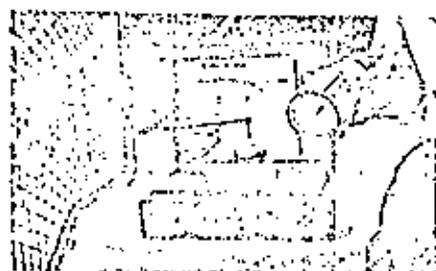


Foto 5. MEDIDOR RÁPIDO DE HUMEDAD



Foto 6. MEMBRANA DE PRESION

ros de la capsula y el tensiómetro no opera correctamente, ya que entonces no constituye un sistema cerrado. Para que vuelva a trabajar con corrección es preciso que descienda la tensión del suelo, lo que se consigue mediante el riego; además debe rellenarse el tensiómetro con agua.

En general el agua utilizable por las plantas es la sometida a tensiones entre 0,3 y 15 atmósferas (capacidad de campo y punto de marchitamiento) y por tanto los tensiómetros, cuyo límite de trabajo sólo llega a 0,65 atmósferas, no cubren la gama necesaria. No obstante, Richard y Wadleigh indican que la limitación citada no reduce sustancialmente las posibilidades de utilización de estos aparatos, puesto que la fracción de humedad comprendida entre el intervalo de medida de 0,3 a 0,65 atmósferas corresponde al 50% de la humedad disponible en terrenos de textura fina y al 90% en terrenos arenosos. De lo anterior se desprende que su uso es más eficaz en los terrenos ligeros.

Para la colocación del tensiómetro es preciso hacer previamente un agujero en el suelo hasta la profundidad deseada; dentro de él se echa un puñado de tierra suelta y posteriormente se sitúa firmemente el aparato, de modo que se consiga un íntimo contacto con el suelo; para que así sea, es conveniente apelmazar la tierra alrededor de la capsula y del tubo del tensiómetro.

Debe situarse un tensiómetro a la profundidad de máxima actividad radicular y otro al final de la zona de raíces. El primero nos indicará si con el riego hemos elevado la humedad del suelo hasta la capacidad de campo; el segundo nos puede señalar los excesos de agua (si el medidor indica el 0, es que el suelo está saturado) y también las deficiencias (si la lectura es elevada). Si el riego se realiza correctamente, las variaciones en el segundo tensiómetro deben ser muy reducidas.

2.6.3.2.2.- Electrómetros

Bouyoucos y Mick, a partir de 1940, utilizaron para medir la humedad la resistencia que ofrece el suelo al paso de una corriente eléctrica; dicha resistencia es función de la cantidad de agua en él retenida, disminuyendo cuando aumenta el contenido de agua.

El instrumento más empleado actualmente está constituido por un bloque poroso en el que están introducidos dos electrodos metálicos.

El bloque poroso actúa como formando parte de la masa de suelo y establece un equilibrio con la humedad en ella existente. Si la salinidad del terreno y la densidad del bloque permanecen constantes, cualquier variación en la resistencia, depende de la variación en el contenido hídrico del suelo.

Los datos de resistencia en ohmios, obtenidos en las medidas del aparato, pueden ser transformados en valores de tensión en atmósferas o en porcentaje de agua disponible.

Para instalarlo en el suelo debe realizarse previamente un agujero a la profundidad deseada, rellenándolo posteriormente con tierra, cuidando de que esta quede suficientemente compacta. Como en el caso de los tensiómetros debe situarse uno en la parte de mayor actividad radicular y otro al final de la zona de raíces.

Los bloques pueden ser de yeso, nylon o fibra de vidrio. Los primeros funcionan más eficazmente para tensiones comprendidas entre 1 y 15 atmósferas; los de nylon son más sensibles para tensiones inferiores a 2 atmósferas; los de fibra de vidrio funcionan satisfactoriamente para toda la gama de valores del agua utilizable.

La utilidad de los bloques porosos está limitada por la salinidad del suelo. La influencia de porcentajes de sales comprendidos entre 0 y 0,2% es despreciable, pero a partir de ese valor los datos registrados no son demasiado exactos, resultando superiores a la realidad. Por encima del 2% las medidas obtenidas no son utilizables. Tampoco se ajustan a la realidad, los valores obtenidos cuando el agua de riego alcanza una concentración de ClNa de 2.000 ppm.

En general, los bloques de yeso son preferibles a los de nylon o fibra de vidrio, pues, aunque estos controlan la humedad en un intervalo más amplio, sin embargo, son más sensibles a las condiciones salinas del terreno.

2.6.3.2.3.- Sonda de neutrones

Los neutrones rápidos, que parten de un emisor, reducen su velocidad por la acción del agua existente en el terreno y quedan transformados en neutrones lentos. Estos son registrados por medio de un contador insensible a los neutrones rápidos. La correlación entre el contenido de agua del suelo y el número de neutrones que llegan al contador es bastante estrecha, puesto que el hidrógeno es el principal elemento que absorbe neutrones rápidos y el agua es la fuente de hidrógeno más importante. Así pues, cuanto mayor es la humedad del suelo, mayor es el número de neutrones lentos registrados.

El aparato utilizado consta de una fuente de neutrones rápidos y de un detector de neutrones lentos; los impulsos creados por el detector son enviados a través de un preamplificador de transistores a la escala de medida, situada en superficie, donde son registradas.

Como en el caso de las medidas de densidad, es necesario colocar un tubo metálico en el terreno para permitir que el aparato pueda bajarse a la profundidad deseada. Si se desea determinar el contenido de humedad en el horizonte superficial, es preciso utilizar otro modelo de sonda que no quede afectada por la discontinuidad aire-suelo; normalmente las determinaciones de humedad en superficie (profundidad menor de 18 cm), se realizan por procedimientos gravimétricos.

La lectura del contador viene calibrada en relación con el contenido de agua del suelo expresado en volumen. Cuando no se requiera una gran precisión, la curva de calibración, facilitada por el fabricante, puede utilizarse para una amplia gama de suelos, con tal de que se cumplan las especificaciones requeridas para el tubo metálico. Sin embargo, si se necesita una gran precisión o se va a usar la sonda en un suelo que tenga condiciones especiales (como puede ser que contenga boro, litio, hierro o una gran abundancia de materia orgánica, elementos que son buenos absorbentes de neutrones rápidos y pueden influir en las lecturas), será necesaria una calibración específica para ese suelo.

La sonda de neutrones es un método rápido para determinar la humedad del terreno; además, con ella es posible la repetición de medidas, puesto que al utilizarla no se alteran las condiciones del suelo.

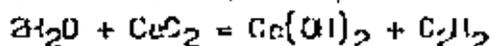
2.6.3.2.4.- Medidor rápido de humedad

Este método se basa en la cantidad de gas (acetileno), que se desprende durante la reacción química que se produce al añadir carburo cálcico a una muestra de suelo (M)

Se utiliza una especie de botella metálica equipada con un manómetro. En el interior de dicha botella se introduce una muestra de suelo (aproximadamente 25 grs), y una determinada cantidad de carburo cálcico. Se cierra entonces herméticamente y se agita durante unos 15 segundos. El agua contenida en el terreno se combina con el carburo cálcico, produciéndose acetileno, que, con su expansión, pone en movimiento el índice del manómetro; cuando se detiene el índice, por haber alcanzado la presión su límite máximo, se lee en la escala el valor obtenido, que expresa el porcentaje de humedad en peso de suelo húmedo, el cual puede ser transformado en porcentaje en peso de suelo seco mediante el empleo de la correspondiente tabla que acompaña al aparato.

El tiempo requerido para realizar el ensayo es muy reducido (del orden de tres minutos).

(M) La reacción que se produce es la siguiente:



2.6.3.2.5.- Determinación aproximada de la humedad (al tacto)

Existe un procedimiento rápido de campo para determinar la humedad del suelo de un modo aproximado. El aspecto y la consistencia que presenta al tacto un puñado de tierra, tomada del suelo ensayado, indican, no con absoluta exactitud por supuesto, su contenido de agua. No obstante, la costumbre adquirida en la realización repetida de la prueba, permite llegar a un grado de aproximación aceptable, con lo que el ensayo resulta muy útil — por su simpleza y rapidez.

En el Anexo nº 2 se incluye una tabla que puede ser utilizada en su orientación para emplear este procedimiento.

2.6.4.- Capacidad de campo

Se ha definido la capacidad de campo como el estado de humedad — del suelo en el cual el agua de gravedad ha abandonado el perfil.

Existen métodos de laboratorio y de campo para su determinación. La mayor incomodidad de los métodos de campo se ve compensada con una mejor calidad de los resultados.

2.6.4.1.- Procedimientos de laboratorio

2.6.4.1.1.- Método rápido

Una muestra de suelo se coloca sobre un papel seco; sobre ella se pasa un rodillo para desmenuzarla y posteriormente se tamiza (tamiz 1 mm). El material obtenido se esparce de forma que su altura sea del orden de 2 cm.; — se rocía cuidadosamente con agua formándose entonces pequeñas bolitas, que rápidamente deben ser separadas, e inmediatamente se determina su humedad por — gravimetría.

2.6.4.1.2.- Método de la membrana de presión (3)

La muestra de suelo, previamente saturada, es sometida a una presión expulsando agua hasta que se alcanza un equilibrio entre su estado hídrico y la presión aplicada.

Generalmente a una tensión de 1/3 de atmósfera para suelos arcillosos y de 0,2 atmósferas para suelos arenillosos, corresponden unos porcentajes de humedad que representan la capacidad de campo para esos tipos de suelos.

Quando los valores de la tensión son bajos, una pequeña variación de ella repercute ampliamente sobre el contenido de humedad del suelo, como puede apreciarse en la Figura 4; por ello, es aconsejable que las determinaciones de capacidad de campo efectuadas en el laboratorio, se contrasten cuidadosamente mediante procedimientos de campo como los que se indican a continuación.

2.6.4.2.- Procedimiento de campo

La medida de la capacidad de campo debe realizarse siguiendo los siguientes pasos:

- 1º) Realización de un riego adecuado que afecte a una profundidad de suelo superior a aquella cuya capacidad se desea determinar.
- 2º) Esperar a que la velocidad de drenaje sea despreciable.
- 3º) Determinar la humedad del suelo por gravimetría.

El ensayo puede realizarse sobre toda la parcela, cuya capacidad de campo se desea determinar, o bien sobre una pequeña porción de la misma.

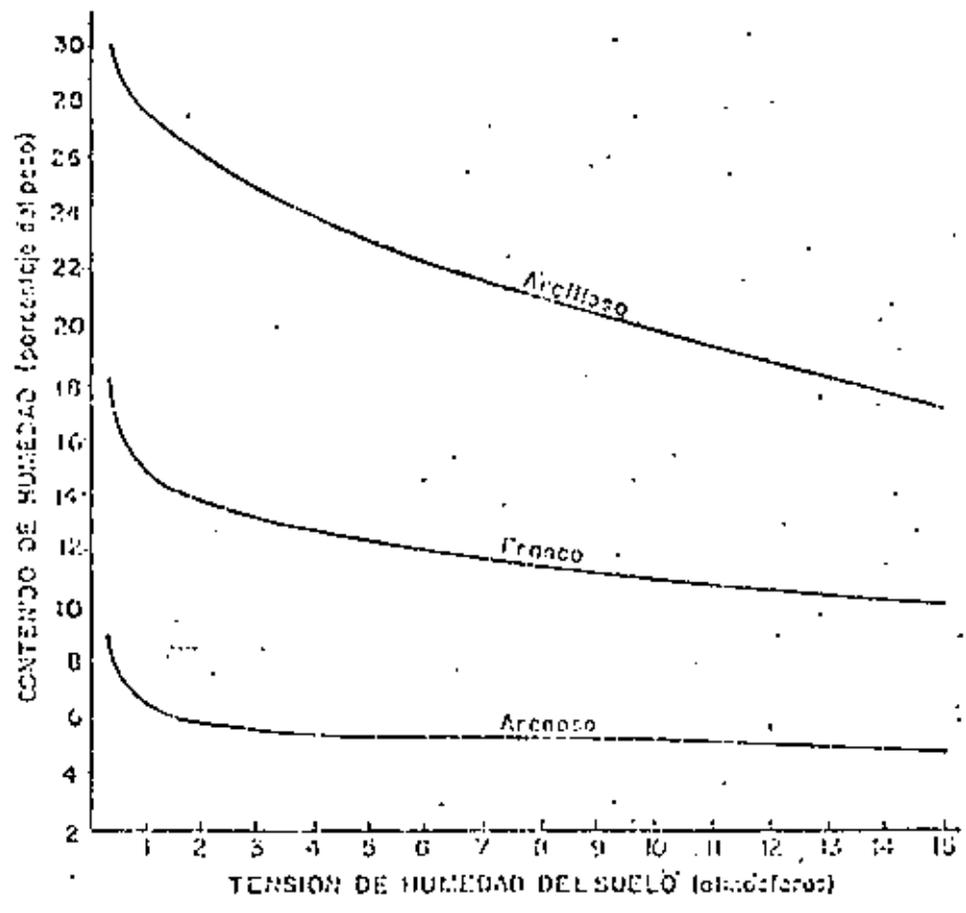
En el primer caso se riega la parcela del modo antes indicado; - dos o tres días después, el suelo habrá drenado suficiente agua de gravedad para considerar nula la velocidad de drenaje. Se seleccionan cinco puntos de la parcela que sean representativos de la misma; en cada uno de ellos, se toma una muestra, por cada treinta centímetros de profundidad a lo largo del perfil, hasta cubrir toda la zona radicular. Posteriormente se determina la humedad de las muestras por gravimetría y se halla la media de los resultados.

Se puede obtener una información más exacta y completa sobre la capacidad de campo tomando las muestras, no una sola vez a los dos ó tres días de realizado el riego, sino varias veces a partir del momento del riego. De esta forma puede seguirse la evolución de la humedad del suelo y precisar más sobre el momento en el cual la velocidad de drenaje es despreciable, que coincidirá con la obtención de valores casi constantes en las determinaciones de humedad de las muestras.

El ensayo puede realizarse también, seleccionando un lugar de la parcela en el cual se marca un cuadrado de 2,50 m. de lado; se le rodea con un dique de tierra de unos 20 cm. de altura y se inunda con agua de riego. Cuando el agua se ha infiltrado hasta quedar solo un centímetro de altura de agua sobre el punto más alto del cuadrado, se vuelve a rellenar de agua y se cubre con un plástico negro. Así debe permanecer hasta tres días después de que todo el agua haya desaparecido de la superficie; llegado ese momento, se quita la cubierta de plástico y se toman y analizan por gravimetría las correspondientes muestras.

Figura 4

CURVAS TENSION-CONTENIDO DE HUMEDAD (Thorne y Renoy, 1956)



Tensión de humedad a la que debería aplicarse el riego para conseguir el desarrollo óptimo de los cultivos en suelos profundos, bien drenados y con fertilización adecuada (Taylor 1965) (1).

<u>C u l t i v o</u>	<u>Tensión de humedad (bares)</u>
Alfalfa	1,50
Alfalfa para semilla (prefloración)	2,00
Alfalfa para semilla (floración)	4,00-8,00 (2)
Alfalfa para semilla (maduración)	8,00-15,00
Apio	0,20-0,30
Aguacate	0,50
Brocoli	0,45-0,55
Brocoli (después de formación del cogollo).	0,60-0,70
Caña de azúcar	0,25-0,30
Cebolla	0,45-0,55
Cebolla (engrosamiento del bulbo)	0,55-0,65
Cereal de invierno	0,40-0,50
Cereales de invierno (maduración)	8,00-12,00
Coliflor.	0,60-0,70
Fresa	0,20-0,30
Frutales de hoja caduca	0,50-0,80
Guisantes	0,30-0,50
Judias	0,75-2,00
Lechuga	0,40-0,60
Limonero	0,40
Maíz	0,50
Maíz maduración	8,00-12,00
Melón cantaloupe	0,35-0,40
Naranja	0,20-1,00
Patatas	0,30-0,50
Platanero	0,30-1,50
Pradera	0,30-1,00
Remolacha	0,40-0,60
Repollo	0,60-0,70
Tabaco	0,30-0,80
Tomate	0,80-1,50
Uvas	0,40-0,50
Uvas maduración	1,00
Zanahoria	0,55-0,65

(1) Estos datos están basados en la medida de la tensión de humedad a la profundidad en la que la actividad radicular es máxima.

(2) Cuando figuran dos valores, el menor debe utilizarse cuando la demanda de evapotranspiración es alta y el mayor cuando dicha demanda es baja. Cuando la evapotranspiración es intermedia, deben utilizarse valores medios.

Se considera que una planta esta permanentemente marchita cuando situada en una atmosfera saturada, en la cual el consumo de agua sea mínimo o no exista, no se recupera del perjuicio sufrido previamente por la escasez de humedad.

El punto de marchitamiento no es un valor constante para un suelo dado, sino que varía con el tipo de cultivo y con la velocidad con que éste toma el agua del suelo. Es frecuente considerar que el punto de marchitamiento de un suelo coincide con el estado de humedad que le corresponde al estar sometido a una tensión de 15 atmósferas. Sin embargo, se ha podido ver, mediante estudios de campo, que algunos cultivos, como el trigo, pueden tomar agua del suelo en tensiones comprendidas entre 30 y 50 atmósferas.

Los hechos anteriores no afectan demasiado desde el punto de vista práctico, puesto que a esas tensiones elevadas, la variación del contenido de humedad es muy reducida, aún cuando las variaciones de tensión sean grandes (Figura 4).

2.6.5.1.- Procedimiento de laboratorio

Puede determinarse el punto de marchitamiento, utilizando una membrana de presión, aplicando una presión de 15 atmósferas a una muestra de suelo previamente saturada (3).

Cuando se desea obtener la capacidad de campo y el punto de marchitamiento de una misma muestra, se realizan primero las operaciones necesarias para determinar la capacidad de campo, pero al aplicar el método gravimétrico, una vez conocido su peso húmedo, no se deseca la muestra, sino que se le aplica la tensión de 15 atmósferas por medio de la membrana de presión y una vez transcurrido el tiempo establecido, se determina su nuevo peso húmedo, dejando la desecación y la determinación del peso seco como últimas operaciones del ensayo.

2.6.5.2.- Procedimiento de campo

Se localiza en la parcela una pequeña superficie que no disponga de ningún suministro de agua, asegurándose también de que no existe un nivel freático próximo que pueda afectar con sus posibles aportes de humedad.

Cuando las plantas de esa pequeña zona seleccionada, dejan de desarrollarse y mueran, entonces, desechando los 20 centímetros superficiales de suelo, se toman muestras del espesor comprendido entre 20 y 40 centímetros de profundidad. A continuación se determina la humedad por el método gravimétrico.

El sistema radicular del cultivo se desarrolla conforme avanza el ciclo vegetativo del mismo; las raíces van utilizando un espesor de suelo mayor para absorber el agua que, en cantidades también crecientes, va solicitando de la planta.

La estimación del grado de desarrollo del sistema radicular de un cultivo en un determinado período de su ciclo, no es fácil de realizar, debido a la complejidad de los parámetros implicados en dicho fenómeno. No obstante, existen algunas formas de llevarla a cabo, como las que se incluyen a continuación.

La observación directa, realizada en el campo periódicamente, permite ir conociendo la situación del sistema radicular durante todo el ciclo del cultivo. Los resultados de las inspecciones realizadas, pueden recopilarse posteriormente para trazar una curva representativa de la evolución seguida a lo largo de la estación de riegos.

La actividad de las raíces puede estudiarse no sólo por inspección directa, sino observando su influencia sobre el estado de humedad del suelo. El espesor de éste que acusa un descenso de humedad en los días que siguen a un riego, será el explorado por las raíces en ese momento. La magnitud de ese descenso indicará la mayor o menor actividad de las raíces a lo largo del perfil del suelo. La recopilación y estudio de las observaciones indicadas, mediante perfiles hídricos, permite seguir el desarrollo del sistema radicular a lo largo de la vida de la planta. Para realizar el control de la humedad del suelo, resulta particularmente adecuada, en este caso, la utilización de la sonda de neutrones, que permite efectuar con exactitud y rapidez las numerosas determinaciones necesarias.

En la fase de iniciación de los trabajos, puede utilizarse una metodología más sencilla consistente en establecer un valor mínimo inicial e ir incrementando éste, a lo largo del ciclo vegetativo, en una cantidad constante hasta llegar a un valor máximo. Así en el distrito de riegos de El Paso (Texas, U.S.A.) cuya programación de riegos efectúa el Irrigation Management Service, del Bureau of Reclamation, se ha seguido el criterio de partir, en cultivos anuales, de una profundidad inicial de 60 cm., que se incrementa de 15 en 15 centímetros hasta llegar a la máxima profundidad establecida (4); se considera que el cultivo ha desarrollado su máxima profundidad cuando ha transcurrido el 80% del período de tiempo comprendido entre la fecha de plantación y la de cobertura efectiva (a).

(a) Se entiende por fecha de cobertura efectiva aquella en que el cultivo alcanza el estado de desarrollo en el cual comienza a requerir las máximas cantidades de agua (véase 3.2.2.).

El crecimiento en profundidad del sistema radicular no es fácil de establecer a priori, dado que depende de factores tan variables como el clima, el suelo y el tipo de cultivo. La duración del ciclo vegetativo de la planta influye sobre el desarrollo en profundidad de la raíz; así aquellos cultivos cuya maduración requiere sólo dos meses penetran de 60 a 90 cm., mientras que los que requieren 3 ó 4 meses, penetran de 90 a 150 cm., y aquellos cuyo ciclo vegetativo dura 6 meses alcanzan profundidades de 150 a 300 cm. y aún más. En general, puede estimarse que, aproximadamente, el sistema radicular profundiza de 30 a 45 cm. por cada mes de desarrollo activo (5).

En el Anejo nº 3 se incluye una tabla orientativa sobre el desarrollo en profundidad de la parte principal del sistema radicular de los cultivos (6); en el Anejo nº 4 figura la profundidad de la zona radicular efectiva que, a efectos de cálculo, se ha considerado en el distrito de riegos de El Paso (Texas) para los cultivos y suelos más representativos de la zona.

2.6.7.- Capacidad de almacenamiento del suelo

Ya fue definida anteriormente como la diferencia entre el contenido de humedad de un suelo correspondiente a los estados de capacidad de campo y marchitamiento. Puede expresarse en porcentaje en masa ó en volumen pero resulta muy cómodo el hacerlo en centímetros de altura de agua.

Ejemplo 2: Determinar la capacidad de almacenamiento de un terreno de perfil homogéneo partiendo de los siguientes datos:

Profundidad radicular considerada = 90 cm.

Densidad aparente = 1,40 gr/cm³

Capacidad de campo = 22 % (masa)

Punto de marchitamiento = 10 % (masa)

Solución:

El valor de la capacidad de almacenamiento es:

Expresado en porcentaje en masa = 22-10 = 12%

Expresado en porcentaje en volumen = (22-10) × 1,40 = 16,8%

Expresado en altura de agua en centímetros = $\frac{22-10}{100} \times 1,40 \times 90 =$
= 15,12 cm.

2.5.8.- Agua a disposición del cultivo en un determinado estado de humedad del suelo

Frecuentemente es conveniente hacer referencia a la cantidad de agua que, para un determinado estado de humedad del suelo, queda todavía a disposición de la planta. Este valor puede obtenerse restando de dicho contenido de humedad el correspondiente al punto de marchitamiento. Puede expresarse, como antes, en porcentaje en masa, en volumen o en altura de agua en centímetros.

Ejemplo 3: Si el suelo del ejemplo anterior se encuentra en el 10% (en masa) de humedad, determinar el agua de qué podrían disponer las plantas:

Solución:

Expresado en porcentaje en masa: $16\% - 10\% = 6\%$

Expresado en porcentaje en volumen: $(16\% - 10\%) \times 1,40 = 11,2\%$

Expresado en altura de agua en centímetros: $\frac{16-10}{100} \times 1,40 \times 90 =$
 $= 10,08 \text{ cm.}$

2.5.9.- Altura de agua a reponer mediante el riego

Si un terreno se encuentra en un determinado estado de humedad, la altura de agua a reponer mediante el riego será la necesaria para llevarlo al estado de capacidad de campo. La diferencia entre la humedad que corresponde a esta situación y la del estado inicial será la necesaria a aplicar en el riego.

Resulta cómodo, como ya se ha indicado, expresar todas las magnitudes en alturas de agua.

Ejemplo 4: Para el mismo terreno de los ejemplos anteriores indicar la altura de agua a reponer, mediante el riego, suponiendo que su humedad es del 16% (en masa).

Solución:

Altura de agua a capacidad de campo: $\frac{22}{100} \times 1,40 \times 90 = 27,72 \text{ cm.}$

Altura de agua inicial: $\frac{16}{100} \times 1,40 \times 90 = 22,68 \text{ cm.}$

Diferencia = 5,04 cm.

2.6.10.- Descenso tolerable de humedad

El deficit de humedad máximo tolerable, debe establecerse teniendo en cuenta, en cada lugar, el cultivo y las condiciones del suelo. Las numerosas variables que están implicadas en este concepto hacen que sea uno de los temas que requieren intenso trabajo de estudio e investigación. En la fase inicial de los trabajos podrian utilizarse descensos del 50 ó 60 % de la capacidad de almacenamiento del suelo; con estas cifras se trabaja actualmente en los distritos de riego de Westland (California) y El Paso (Texas), ambos encuadrados en el programa Irrigation-Management Service del United States - Bureau of Reclamation.

En el Anejo nº 5 se incluye una tabla orientativa procedente de la Irrigation Management Service Technical Guide, que permite seleccionar el descenso tolerable según el cultivo (?).

En el Anejo nº 6 figura los valores a utilizar en suelos profundos y de textura media para algunos cultivos extensivos de regadío (?).

Por último en el Anejo nº 7 se han incluido los valores de la tensión de humedad a los que, según Taylor (?), debería aplicarse el riego para conseguir el desarrollo óptimo de los cultivos (en suelos profundos, bien drenados y con fertilización adecuada).

Ejemplo 5: Calcular la capacidad de almacenamiento y el descenso tolerable - (expresados ambos en cm. de altura de agua), correspondientes a un suelo para el que se ha fijado un 35% de descenso tolerable y cuyas características son las siguientes:

<u>Profundidad cm.</u>	<u>Textura</u>	<u>Densidad aparente</u>	<u>Capacidad de campo (%)</u>	<u>Punto de marchitamiento</u>
0 - 30	Franco arenoso	1,50	15	6
30 - 70	Franco arcilloso	1,35	27	13
70 - 100	Franco	1,40	22	10

La profundidad de la zona radicular efectiva se ha fijado en 100 cm.

<u>Profundidad cm.</u>	<u>Capacidad de almacenamien to (% volumen)</u>	<u>Capacidad de almacenamien to cm. de agua/10 cm suelo</u>
0 - 30	$(15-5) \times 1,5 = 13,5$	1,35
30 - 70	$(27-13) \times 1,35 = 18,9$	1,89
70 - 100	$(22-10) \times 1,40 = 16,8$	1,68

Capacidad de almacenamiento = $\frac{30}{10} \times 1,35 + \frac{10}{10} \times 1,68 = 13,29$ cm. de altura de agua.

Descenso tolerable = $13,29 \times \frac{35}{100} = 4,65$ cm. de altura de agua

2.6.11.- Valores medios de los parámetros hídricos del suelo

A continuación se indican algunos valores orientativos de los parámetros tratados anteriormente:

Textura	C.C. %	P.M. %	<u>Agua utilizable</u>		
			Peso seco %	Volumen %	cm. de agua/10 cm de suelo
Arenosa	9 (6 - 12)	4 (2 - 6)	5 (4 - 6)	8 (5 - 10)	0,8 (0,6 - 1)
Franco-arenosa	14 (10 - 18)	6 (4 - 8)	8 (6 - 10)	12 (9 - 15)	1,2 (0,9 - 1,5)
Franco	22 (18 - 26)	10 (8 - 12)	12 (10 - 14)	17 (14 - 20)	1,7 (1,4 - 2)
Franco-Arcillosa	27 (23 - 31)	13 (11 - 15)	14 (12 - 16)	19 (16 - 22)	1,9 (1,6 - 2,2)
Arcillo-limoso	31 (27 - 35)	15 (13 - 17)	16 (14 - 18)	21 (18 - 23)	2,1 (1,8 - 2,3)
lilosa	35	17	18	23	2,3

CLASES DE TEXTURA EN DETERMINACIONES AL TACTO

- Arenosa.**— Formado por material suelto y de granos individuales. Estos granos se pueden ver y distinguir fácilmente. Si se aprieta en la mano un puñado de tierra los granos se separan al dejar de oprimirlos. Si se oprimen estando húmedos, se pueden moldear pero se deshacen al tacto.
- Franco arenosa.**— Tiene un alto porcentaje de arena pero hay también suficiente cantidad de limo y arcilla para darle cierta consistencia. Los granillos de arena pueden distinguirse con facilidad. Si se aprieta en seco se puede moldear pero se deshace con rapidez. Al apretarlo cuando está húmedo, se moldea y puede manejarse, con cierto cuidado, sin deshacerse.
- Franco.**— Es una mezcla relativamente equilibrada de diversos tamaños de arena, limo y arcilla. Es blanda al tacto aunque se distingue la consistencia arenosa y es ligeramente plástica. Si se le oprime estando seco se moldea que puede manejarse, con cierto cuidado, sin que se quiebre; estando húmedo puede manejarse una vez comprimido, sin que se deshaga.
- Franco limoso.**— Este tipo de suelo contiene una proporción moderada de arena fina y muy poca cantidad de arcilla; más de la mitad de las partículas son de limo. En seco su aspecto es aterronado pero los granos se deshacen con facilidad. Una vez pulverizada, el tacto es suave y harinoso. Al humedecerlo se forma todo con facilidad. Tanto en seco como en húmedo puede moldearse y manejarse sin que se desintegre. Al humedecerlo y comprimirlo entre los dedos no forma hilillos y tiene un aspecto quebradizo.
- Franco arcilloso.**— Es de textura fina y en general forma terrones o grumos al estar duro y seco. Cuando se humedece y se aprieta entre los dedos se forman hilillos fácilmente quebradizos y que se desmoronan por su propio peso. — Bien humedecido tiene consistencia plástica y se forman moldes resistentes. Al amasarlo en la mano no se desmorona inmediatamente, sino que tiende a formar una masa compacta.
- Arcillosa.**— Es de textura fina y en general forma terrones y grumos duros al estar seco; es de consistencia plástica y al humedecerlo es pegajoso. Estando húmedo, al apretarlo entre los dedos se forma un hilillo flexible. Algunas arcillas con alto contenido de coloides son friables y no tienen plasticidad cualquiera que sea el grado de humedad.

ANEJO N° 2

Determinación aproximada de la humedad del suelo (al tacto)

Humedad utilizable que existe en el suelo	Textura gruesa	Textura moderadamente gruesa	Textura media	Textura fina y muy fina
0 a 25 % del agua utilizable por la planta.	Seco, suelta, en granos simples, se mueve entre los dedos.	Seco, suelta, se mueve entre los dedos.	Pulverulento seco, algunas veces formando ligera costra que fácilmente se reduce a polvo.	Duro, seco, resquebrajado, algunas veces como migas sueltas en la superficie.
25 a 50 % del agua utilizable por la planta.	De aspecto seco, comprimiendo no se forma una bola (1).	De apariencia seca, no formará una bola (1).	Algo disgregado, pero se mantiene unido con presión.	Algo flexible, forma una bola con presión.
50 a 75 % del agua utilizable por la planta.	De aspecto seco, comprimiéndose no formará una bola.	Bajo presión tiende a formar una bola, pero raramente se mantiene unido.	Forma una bola algo plástica algunas veces con presión deslizable.	Forma una bola que fluirá hacia el exterior en forma de cinta entre el pulgar y el índice.
75 % del agua utilizable por la planta.	Tiende a unirse débilmente; a veces forma una frágil bola con presión.	Forma una débil bola que se rompe fácilmente; no desliza.	Forma una bola muy flexible; desliza fácilmente si es relativamente alta su cantidad de arcilla.	Fácilmente sale formando cinta entre los dedos; tiene tacto untuoso.
100 % del agua utilizable por la planta (está a humedad de retención).	Comprimiendo no aparece en la tierra agua libre, pero queda en la mano marcado el contorno húmedo de la bola.	Comprimiendo no aparece en la tierra agua libre, pero queda en la mano marcado el contorno húmedo de la bola.	Comprimiendo no aparece en la tierra agua libre, pero queda en la mano marcado el contorno húmedo de la bola.	Comprimiendo no aparece en la tierra agua libre, pero queda en la mano marcado el contorno húmedo de la bola.

(1) La bola se forma comprimiendo un puñado de suelo muy firmemente.

ANEJO N° 3

PROFUNDIDAD QUE ALCANZA LA PARTE PRINCIPAL DEL SISTEMA RADICULAR DE LAS PLANTAS EN PLENO DESARROLLO
(CONDICIONES MEDIAS)

FRUTALES.-	PLANTAS INDUSTRIALES.-	HORTALIZAS.-	CEREALES Y PIENSOS.-	PRADEIAS Y FORRAJES.-	VERDURAS.-
dm.	dm.	dm.	dm.	dm.	dm.
Agrios..... 6-9	Algodón 10-15	Alcachofa..... 10	Aroz..... 3-4	Alfalfa..... 8-15	Batata... 9-12
Aguacate... 6	Cacahueta... 4-6	Ajo..... 3-6	Avena..... 9-10	Posital de gramíneas..... 3-6	Judías 6-10 grano
Albaricoque 9-12	Caña Azúcar.. 4-6	Berenjena..... 6-10	Cebada..... 8-10	Posital de gramíneas y leguminosas... 6-8	Nelón ... 7-10
Almendro... 9-12	Café..... 6-9	Calabaza..... 6-10	Centeno..... 9-10	Trébol rojo... 8-12	Nabo 6
Cerezo ... 9-12	Citrano..... 10-15	Cardo..... 6	Faba..... 6		Papas... 7.5-1
Citrulo ... 9-12	Lino..... 6-6	Cebolla..... 2-3	Maiz..... 9-15		Sandía... 10-15
Diguera ... 12-16	Lúpulo..... 9-12	Col..... 4-6	Sorgo..... 12-18		
Manzano ... 9-12	Olivo 12-14	Coliflor..... 4-6	Trigo..... 8-10		
Melocotón.. 6-12	Remolacha azuc. 10-18	Espárragos... 10-15	Vasa..... 6-7		
Naranja... 18-20	Soja..... 6	Espinacas... 4-6			
Palmera Datil 4-12	Tabaco 8-10	Fresa..... 4,5-6			
Peral..... 9-12		Guisante..... 6			
Viñedo o sardal..... 8-12		Judías verdes... 2,5-5			
		Lechuga..... 2-3			
		Peperón..... 6-10			
		Pisicentos..... 4-5			
		Puerros..... 2,5-3			
		Rábanos..... 2,5-3			
		Remolacha azuc. 6-10			
		Tomate..... 10-12			
		Zanahoria..... 6-10			

22
17

ANEJO N° 4

Profundidad de la zona radicular efectiva
 Distrito de Riegos de El Paso (Texas)

CULTIVO	SUELOS PESADOS (Arcillosos y arcillolimosos)	SUELOS MEDIOS Y LIGEROS (Franco arcillosos, francos y franco arenosos).
<ul style="list-style-type: none"> - Cultivos de raíces soneras - Lechugas - Coles - Cebollas 	60 a 90 cm.	90 a 120 cm.
<ul style="list-style-type: none"> - Cultivos de raíces medias - Algodón - Sorgo - Cereales de invierno - Maíz - Tomates - Pimientos - Patatas 	90 a 120 cm.	120 a 150 cm.
<ul style="list-style-type: none"> - Cultivos de raíces profundas - Alfalfa - Nogales 	120 a 150 cm.	150 a 180 cm.

Descenso tolerable de humedad para diversos cultivos

<u>Cultivo</u>	<u>% de descenso</u>
Alfalfa	60
Aguacate	30
Apio	15
Brócol	20
Caña de azúcar	15
Cebollas	30
Cebollas maduración	40
Coliflor	45
Fresas	10
Frutales hoja caduca	40
Guisantes de verdeo	25
Judías	50
Lechuga	35
Limonero	25
Maíz grano	40
Melón cantaloup	20
Naranja	35
Patata	40
Platanera	30
Prados	35
Remolacha	30
Repollo	35
Tabaco	25
Tomate	45
Viñedo	25
Viñedo maduración	55
Zanahoria	40

ANEXO N° 6

Déficit de humedad tolerable en suelos profundos y de textura media (1).-

C U L T I V O	Déficit tolerable aproximado (mm.)		
	Primer riego.	Segundo riego.	Riegos sucesivos
Cereales de invierno	75	90	115
Judias	45	50	50
Guisantes	65	75	75
Patatas (2)	40	50	50
Remolacha azucarera	65	75	90
Maíz o Sorgo	65	75	75
Alfalfa	150-200	150-200	150-200
Pastos	75	90	90

(1) Para algunos cultivos, tales como los cereales de invierno, el maíz y el sorgo, el déficit tolerable en el período que precede a la recolección, puede aproximarse a la humedad máxima utilizable. Para las patatas y la remolacha, los niveles de humedad en el momento de la recolección deben ser superiores.

(2) En suelos de textura arenosa, estos valores pueden precisar una reducción importante si se quiere conseguir una cosecha de calidad.





centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam

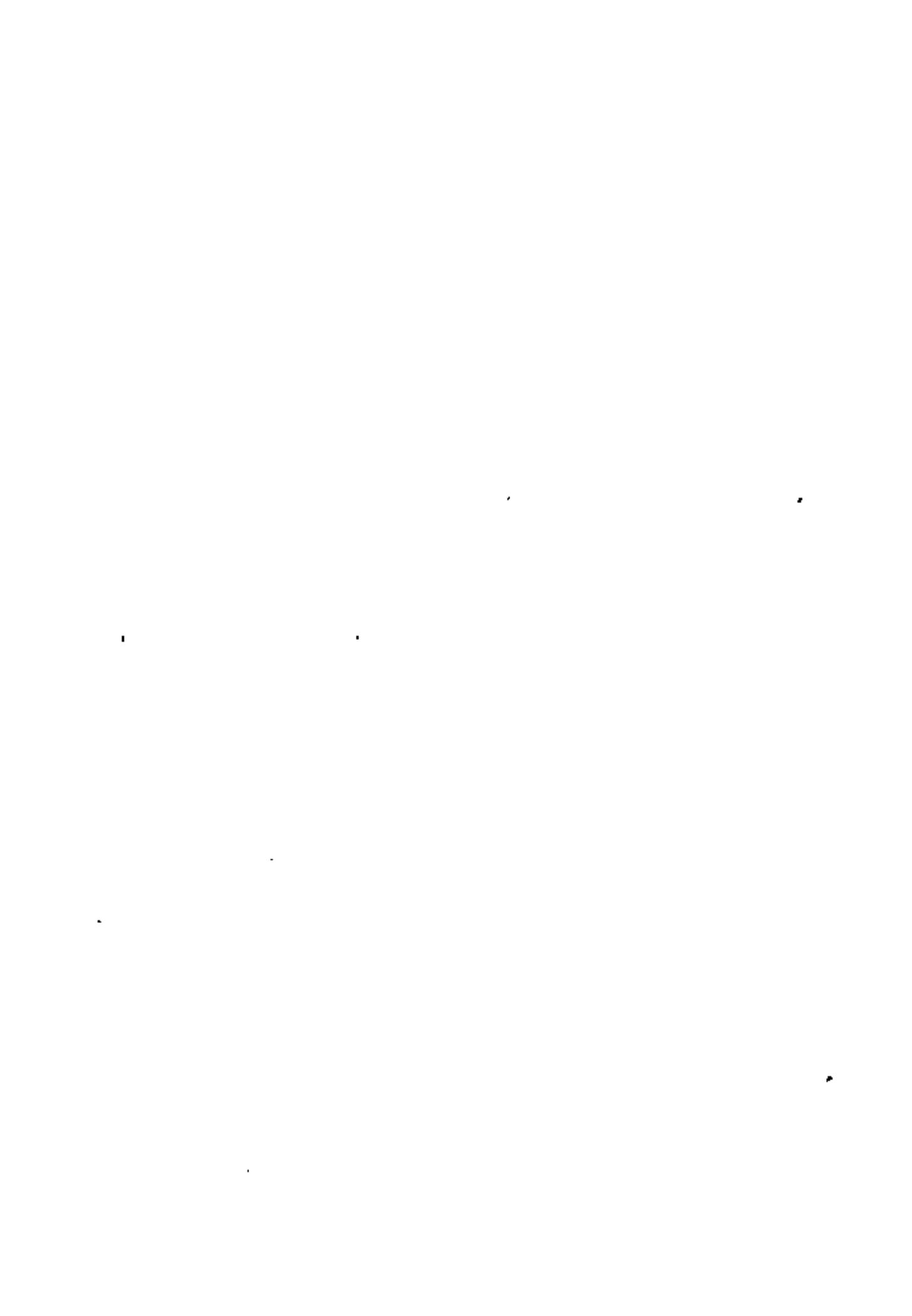


MECANIZACION Y AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

MÉTODOS PARA ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO
DETERMINACIONES DE SALINIDAD EN SUELOS Y AGUAS PARA RIEGO

DR. FAUSTINO GARCIA LOZANO

JULIO, 1980



I N D I C E

	<u>Páginas</u>
<u>INTRODUCCION</u>	
I - <u>ANALISIS MECANICO</u>	
Material	5
Procedimiento	5
Impreso de Laboratorio	7
II - <u>COEFICIENTE DE MARCHITEZ Y AGUA UTIL</u>	
Material	9
Modo de operar	10
Aparato de presión - membrana de Ri - charde	13
Impreso de Laboratorio	14
III - <u>PERMEABILIDAD</u>	
Material	15
Procedimiento	16
Croquis de instalación del material ..	18
Impreso de Laboratorio	19
Impreso para representación gráfica de la permeabilidad	20

IV - DENSIDAD APARENTE Y REAL

Material	21
Procedimiento	22
Impreso de Laboratorio para densidad - aparente	24
Impreso de Laboratorio para densidad - real	25

V - SALINIDAD

Medida de la salinidad por la conducti- vidad eléctrica	27
Riego de alcalinización del suelo	28
Material	28
Procedimiento	31
Gráfico nº 1	32
Determinación del Ca + Mg en el extrac- to saturado	33
Contenido de yeso en el suelo	34
Necesidad de calcio soluble	34
Gráfico nº 2	35
Interpretación del índice de necesidad de calcio soluble	36
Carbonatos alcalinoterreos	37
Aguas de riego	37
Material	37
Procedimiento	38
Gráfico nº 3	39
Impreso de Laboratorio para salinidad - y alcalinidad del suelo	40
Impreso de Laboratorio para aguas de -- riego	41
Bibliografía	43

INTRODUCCION

Estas instrucciones se dirigen primordialmente a los Servicios Agronómicos de las Confederaciones Hidrográficas de la Dirección General de Obras Hidráulicas, con objeto de asegurar la homogeneidad de los estudios de suelos necesarios para los informes agronómicos de las zonas regables. Son resultado del trabajo conjunto del equipo agronómico del Centro de Estudios Hidrográficos y del Laboratorio de Física e Hidrodinámica del Suelo del Instituto de Edafología y Fisiología Vegetal, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, dirigidos por el Dr. Ingeniero Agrónomo Sr. García Lozano secundado por el Dr. en Ciencias Sr. González Bernáldez del Laboratorio indicado.

Su finalidad es recopilar y uniformar los procedimientos actualmente en uso para análisis y determinación de las propiedades físicas del suelo y determinación de salinidad en suelos y aguas para riego. De este modo se pretende hacer comparables los resultados obtenidos.

Se han relacionado los métodos recopilados en esta publicación como resultado de la información obtenida sobre los mismos en países y Centros en que se utilizan habitualmente para los estudios previos en las transformaciones en regadío, destacando entre ellos el Bureau of Reclamation de EE.UU. y el Genie Rural de Francia. Los métodos que se exponen han sido adoptados en el Laboratorio de Física e Hidrodinámica del Suelo del Instituto de Edafología, y algunos de ellos han sido creados por el mismo Departamento y previamente contrastados en la práctica.

I - ANALISIS MECANICO.

El análisis mecánico da una información sobre la textura del suelo. La técnica de BOUYGUCOS se basa en la densimetría de las dispersiones suelo-agua efectuada en tiempos diferentes, y en la ley de Stokes, que relaciona la velocidad de caída de las partículas en el seno de un líquido con el radio de éstas.

MATERIAL

- a) Hidrómetros.
- b) Batidora.
- c) Dispersante. Puede usarse "Calgón". Se prepara disolviendo alrededor de 35 gr. por litro de agua, hasta que el hidrómetro dé una lectura de 40 ó 42 a 20° C.
- d) Termómetro
- e) Cilindros graduados. De 1.000 cc. (6 cm. de diámetro interno).
- f) Tapones.

PROCEDIMIENTO.

1.- Pesar 50 gr. de suelo (desechado al aire) con una precisión de $\pm 0,01$ gr.

2.- Colocar el suelo en la copa de la batidora junto con 10 cc. de dispersante (1) y agua destilada suficiente, hasta que la superficie del líquido quede a 6 cm. del fondo de la copa.

3.- Dispersar mediante la batidora durante 15 minutos.

4.- Verter el contenido en el cilindro aforado, arrastrando con el frasco lavador todas las partículas, completar con agua hasta - 1.000 cc.

5.- Agitar el cilindro aforado (tapado) durante 1 minuto a fin de homogeneizar el contenido.

6.- Dejar el cilindro sobre la mesa al mismo tiempo que se dispara el cronómetro. Introducir el hidrómetro cuidadosamente en la dispersión. Al cabo de 40 segundos del cese del agitador, anotar:

- a) Medida del hidrómetro d
- b) Temperatura en grados C t
- c) Hora a la que cesó el agitado

7.- Al cabo de 120 minutos del momento del cese del agitado volver a anotar:

- a) Medida del hidrómetro d'
- b) Temperatura en grados C t'

8.- Los cálculos se realizan así (2):

$$x = \frac{d + (t - 20) \cdot 0,36}{50} \times 100 = \% \text{ limo más arcilla.}$$

$$y = \frac{d' + (t' - 20) \cdot 0,36}{60} \times 100 = \% \text{ arcilla}$$

$$x - y = \% \text{ de limo.}$$

$$100 - x = \% \text{ de arena.}$$

NOTAS.

(1).- Hexametáfosfato sódico. Para prepararlo: disolver 35,7 gr. de metáfosfato sódico y 7,94 gr. de carbonato sódico en 1 litro. El metáfosfato se prepara calentando fosfato monosódico a 650° C. Puede usarse el detergente comercial llamado "Calgon", preparando una solución en agua que dé una lectura de 40 a 42 con el hidrómetro de Bouyoucos, a 20° C. (unos 50 gr. por litro).

(2).- Se supone que la temperatura de contraste del hidrómetro Bouyoucos es de 20° C.

II - COEFICIENTE DE MARCHITEZ Y AGUA UTIL

Para la determinación del coeficiente de marchitez (porcentaje de humedad a 15 atmósferas) y de agua útil (porcentaje de humedad comprendido entre los límites superior e inferior de accesibilidad del agua: una y quince atmósferas respectivamente) puede usarse el aparato de presión-membrana de Richards (Soil moisture equipment Co 3,005 de la Viñia Street, Santa Bárbara, California). El método se basa en el equilibrio de la muestra de suelo con una presión conocida, el agua es expulsada hasta que alcanzado el equilibrio, puede determinarse el contenido de humedad por desecación a 105° C.

MATERIAL.

Aparato de extracción de presión-membrana según L.A. Richards con regulador diferencial de mercurio. El aparato va provisto de un diafragma de goma. Mediante el regulador de mercurio, se puede aplicar una diferencia de presión entre la cámara y el diafragma de 4 p.s.i. cuando el flujo de agua ha cesado. El diafragma sujeta entonces las muestras contra la membrana y asegura una eliminación más completa del agua. Esta diferencia de presión sólo puede aplicarse cuando las muestras presentan un contenido de agua que les permite resistir la presión del diafragma sin deformarse excesivamente. (Este momento viene indicado por el cese del flujo de agua. V. más adelante).

Para la instalación y conservación del aparato véase las instrucciones del fabricante.

Fuentes de presión. Botellas de aire o de nitrógeno comprimido (250 Kg/cm². Puede usarse hasta que su presión se haya reducido a 150 Kg/cm²). Cuando se utilizan varios extractores en batería es mejor

un compresor de aire con un regulador de presión.

Manómetros. Para ajustar la presión al valor constante deseado, abriendo más o menos la llave (D) colocada entre la botella y el manómetro regulador.

Anillos de goma. Para contener las muestras. Estos anillos son ligeramente tronco-cónicos. Altura 16 mm. Diámetros internos 50 y 48 mm. Grueso 4 mm.

Membrana celulósica. Es necesario disponer de una reserva de esta membrana para cortar de ella las piezas que se vayan necesitando.

Estufa de desecación a 105° C.

Balanza. Sensibilidad \pm 0,001 gr.

Discos de papel parafinado. De 7 cm. de diámetro.

MODO DE OPERAR.

1.- Cortar la membrana celulósica en forma circular de manera que no sobresalga del disco. Humedecer la membrana. Después de humedecida, ésta se dilata deformándose, de forma que es necesario volver a cortarla de nuevo para que tenga la forma y dimensiones convenientes.

2.- Colocar sobre la membrana (una vez instalada ésta en el aparato) los discos de papel parafinado (cabén 8 en cada carga). Colocar sobre cada uno de estos discos un anillo de goma. Llenar de suelo, procedente de muestras medias, cada uno de estos anillos; apisonando ligeramente hasta llegar al borde superior del anillo. La boca más ancha del anillo debe estar dirigida hacia arriba.

3.- Verter agua sobre la membrana celulósica hasta que alcance una altura de 1 cm., a fin de que las muestras de tierra vayan saturándose por capilaridad. Una vez saturadas las muestras (cambio de color de la superficie superior) se recoge el agua que queda sobre la membrana por medio de una pipeta. Colocar otro disco de papel parafinado sobre cada anillo de goma.

4.- Tapar el aparato, teniendo cuidado de apretar por igual cada uno de los tornillos. Cerrada la llave de escape del gas (A) y la del manómetro (D) y abiertas las B y C, dar salida al gas de la botella con la llave D, hasta que el manómetro marque una atmósfera. Vigilar que esta presión se mantenga constante durante toda la primera parte de esta determinación.

5.- Mantener estas condiciones hasta que cese de aparecer agua por el tubo de desagüe localizado en la parte inferior del aparato. Este momento puede reconocerse colocando un recipiente debajo de este tubo y esperando a que el recipiente aparezca perfectamente seco, después de haberlo vaciado y secado cuantas veces sea necesario.

6.- Cerrar en este momento la llave B. Abrir la llave A durante unos segundos y volverla a cerrar (a ser posible antes de que oiga el barboteo del mercurio del tubo en U). Hecha esta operación, volverá a aparecer agua por el tubo de desagüe.

7.- Cuando el flujo de agua por el tubo de desagüe haya cesado, volver a abrir el aparato. Para ello: cerrar primero la llave general (E), y luego la del manómetro (D), abrir la llave B y finalmente abrir la llave de escape del gas A, hasta que desaparezca la presión del interior del aparato.

8.- Levantar con una espátula los anillos de goma conteniendo las muestras, tirar los discos de papel parafinado y colocar los anillos con la muestra de tierra sobre nuevos discos de papel parafinado. Esto se consigue fácilmente retirando el papel parafinado de arriba y reemplazándolo por el nuevo antes de retirar el conjunto de la membrana. Levantando el conjunto con una espátula y dándole la vuelta de manera que el nuevo papel quede como base. Pesar el conjunto (anillo de goma + muestra de suelo + nuevo disco de papel parafinado) (procurar emplear el menor tiempo posible en estas operaciones a fin de evitar la pérdida de agua por evaporación) la pesada se anota como P_1 .

9.- Colocar los anillos con el suelo sobre la membrana celulósica, con el papel parafinado encima, y esta vez con la boca más estrecha del anillo hacia arriba. Esto puede conseguirse trasladando el anillo con el disco de papel en su base, sobre la membrana, levantando ligeramente el anillo con una espátula, sacando el papel y colocándolo en la parte superior.

10.- Cerrar el aparato. Aplicar ahora 15 atmósferas, teniendo en cuenta las precauciones indicadas al principio. Cesado el goteo de agua se vuelve a repetir las operaciones del nº 6.

11.- Cuando el goteo que sigue a esta última operación ha cesado de nuevo, abrir el aparato siguiendo las instrucciones del nº 7 y hacer una nueva pesada del conjunto (anillo de goma + muestra de suelo + disco de papel). La pesada se anota como P_2 . Hay que tener cuidado de recoger e incluir en la pesada cualquier partícula de suelo que ha-

ya podido desprenderse de los anillos.

12.- Separar cuidadosamente el suelo del anillo de goma y del papel parafinado. Pesar el anillo más papel y anotarlo como P_3 . Introducir el suelo en una cápsula en la estufa a 105° C. durante 24 horas. Pesar el suelo solamente y anotarlo como P_4 .

OBSERVACIONES.

La membrana celulósica ha de estar siempre ligeramente húmeda antes de las determinaciones.

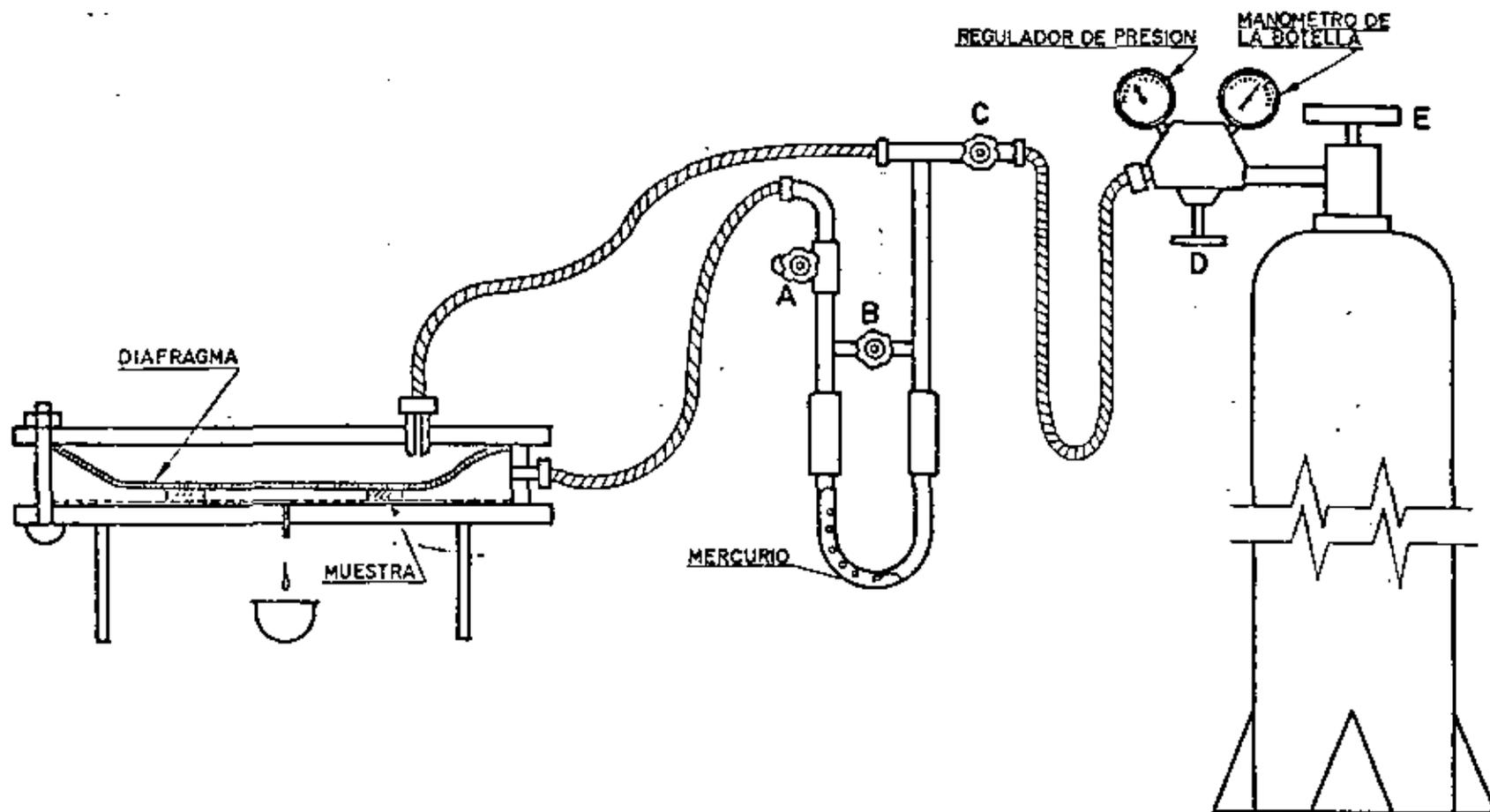
Antes de abrir la llave E, asegurarse de que la D está cerrada.

La humedad equivalente y el coeficiente de marchitez se calculan por las siguientes fórmulas:

$$\text{He} = \frac{P_1 - P_2}{P_4} \times 100$$

$$\text{Cte. marchitez} = \frac{P_2 - P_3 - P_4}{P_4} \times 100$$

APARATO DE PRESION MEMBRANA DE RICHARDS



III - PERMEABILIDAD.

La permeabilidad de un suelo es la propiedad de dejarse atravesar más o menos fácilmente por los fluidos. De estos el más importante, en nuestro caso, es el agua. Esta propiedad es esencial para el riego. Teóricamente es posible decir que la permeabilidad es una función de la textura, de la composición del complejo absorbente y de su contenido en materia orgánica y calcio.

MATERIAL.

Depósito de nivel constante (conseguido mediante un flotador de boya). Desde este depósito se puede sifonar el agua sobre las muestras (estructura intacta) contenidas en cartuchos de cartón parafinado, de manera que se mantenga una carga hidráulica constante. El cogtado del depósito va provisto de arandelas para fijar los cartuchos.

Junta tronco-cónica de goma. Provista de un enrejado en la parte inferior.

Cilindro de metal. Para adaptar a la parte superior del cartucho de cartón. En este cilindro debe mantenerse una altura de agua constante sobre la superficie de la muestra.

Juntas elásticas de goma. Para hacer estanco el conjunto.

Embudos de cristal. De unos 18 cm. de diámetro.

Probetas graduadas. De 500 cc. y 1.000 cc. (según la permeabilidad de la muestra).

Sifones de cristal. Doblemente acodados para sifonar el agua sobre las muestras.

PROCEDIMIENTO.

1 - Serrar el tocho de cartón que contiene la muestra de suelo, a 9 cm de la superficie, utilizando una sierra de disco. El corte debe ser perfectamente horizontal y lo más regular posible.

2.- Encajar la parte serrada del tocho en la goma tronco-cónica provista de una rejilla en la parte inferior (antes se ha colocado un papel de filtro sobre esta rejilla). Introducir en la parte superior del tocho, el cilindro metálico. Hacer estanco la unión entre el cilindro metálico y el tocho, por medio de una junta de goma (procedente de un neumático de motocicleta cortado con unos 3 cm de anchura).

3.- Sujetar el conjunto en la abrazadera del depósito de nivel constante.

4.- Colocadas de esta manera las 6 muestras que admite el aparato, sifonar el agua de forma que se mantenga una carga de 3 cm. sobre cada superficie.

5.- Anotar:

- a) Tiempo en que comienza el sifonado.
- b) Tiempo en que aparece la 1ª gota por la rejilla de la base del conjunto.
- c) Volumen en cc. percolados y recogidos en la probeta a partir del tiempo a) al cabo de cada hora transcurrida

6.- Estas determinaciones se prosiguen sin interrupción hasta que el agua recogida sea constante para 3 horas consecutivas.

7.- Cuando sea imposible efectuar las lecturas horarias del agua percolada (por ejemplo durante la noche) se recoge el agua en un recipiente mayor que la probeta, y se continúan las lecturas horarias en cuanto sea posible, a fin de no interrumpir el proceso de percolación. Es muy conveniente escoger el comienzo de la determinación de manera que estas lecturas horarias no queden abandonadas (sobre todo en los primeros momentos de la infiltración).

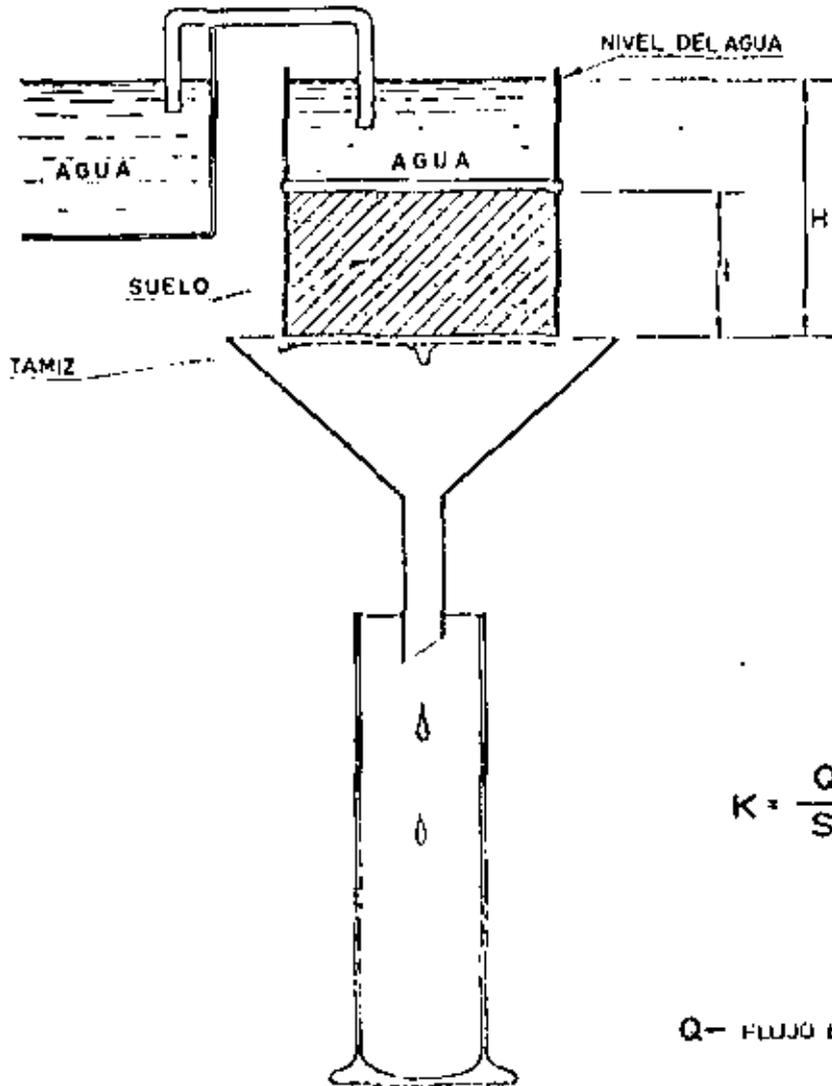
OBSERVACIONES:

Si interesan los valores de los primeros momentos de determinación, es imprescindible utilizar muestras que conserven la humedad con que fueron recogidas en el terreno. Si la muestra se ha secado en el interior del cilindro, la retracción del suelo provoca la aparición

de un espacio entre las paredes del cilindro y la muestra, que falsearía los datos obtenidos en los primeros momentos. Tales muestras secas pueden sin embargo usarse para determinaciones del coeficiente de permeabilidad, una vez que por el hinchamiento del suelo se ha hecho desaparecer el espacio citado y la percolación se ha hecho constante.

Los resultados se expresan en mm. por hora. Para su representación puede darse una gráfica de la marcha de la percolación hasta que ésta se hace constante ó simplemente la cifra final, cuando se ha llegado a la constancia.

CROQUIS DE INSTALACION DEL MATERIAL



$$K = \frac{Ql}{SH}$$

Q - FLUJO EN cm^3/seg

l - ALTURA DE LA MUESTRA ANALIZADA (en cm)

H - ALTURA DE LA COLUMNA LIQUIDA (en cm) (comprendida la de la muestra)

S - SUPERFICIE DE LA MUESTRA (en cm^2)

LOS RESULTADOS DE PERMEABILIDAD SE PUEDEN TAMBIEN EXPRESAR UTILIZANDO EL COEFICIENTE K . ESTO TIENE LA VENTAJA DE PODER COMPARAR DETERMINACIONES HECHAS CON DISTINTOS METODOS.

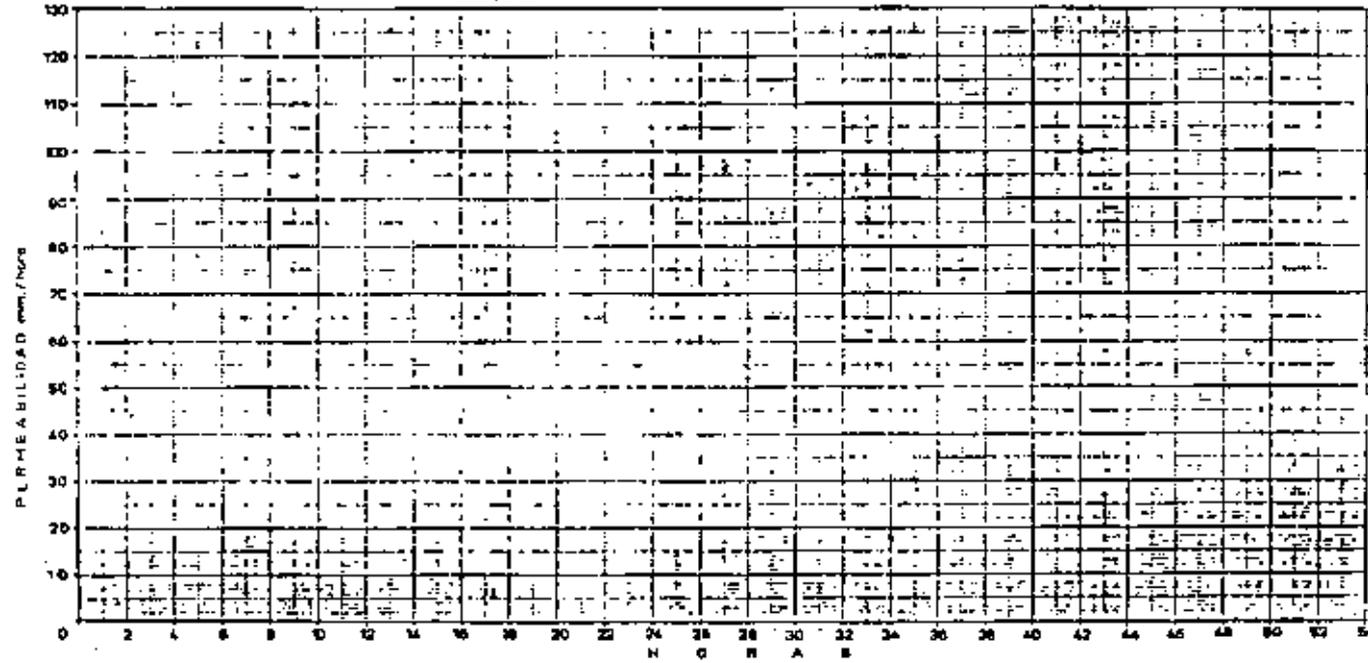
(K OSCILA DE 0.3×10^{-3} A 20×10^{-3} en suelos medios)

CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRAFICOS

GRAFICA DE PERMEABILIDAD

ANALISIS MECANICO
ESTRUCTURA
DENSIDAD REAL
CONTENIDO EN SO₂
.....

NO DE ORDEN CARACTERISTICAS
MUESTRA N°
DENSIDAD APARENTE PERMEABILIDAD (cm/a)
SALINIDAD (CONDUCTIVIDAD EXTRACTO SATURADO A 25°C)
SODIO DE CAMBIO
CARBONATOS MATERIA ORGANICA



IV - DENSIDAD APARENTE Y REAL.

Se llama densidad aparente, al peso específico de una muestra de suelo considerando todos sus poros y espacios internos. Densidad real, por el contrario, es el peso de la unidad de volumen del suelo sin sus poros ni espacios, es decir como si sus componentes estuviesen íntimamente unidos, conservando su composición.

La densidad aparente es bastante variable, en cambio la real oscila entre 2,6 y 2,7. La causa es que los componentes normales que intervienen en el porcentaje mayor de un suelo (cuarzo, feldespato y silicatos coloidales) tienen pesos específicos muy similares y próximos a las cifras dadas anteriormente. La única variación mayor puede ser debida a la materia orgánica y su porcentaje es pequeño respecto al de los otros componentes. En la densidad aparente, sin embargo, intervienen además el grado de agregación y de compactación de las partículas que forman el suelo.

MATERIAL.

a) Densidad real.-

Picnómetro. Resistente al calor, con tapón u obturador de vidrio cuidadosamente calibrado de unos 25 cc. de capacidad.

Termómetro.

Balanza Analítica.

Hornillo de gas o eléctrico.

b) Densidad aparente. -

Cilindros metálicos. De borde cortante (V. figura).

Estufa de desecación. (105° C).

Balanza. Sensibilidad † 0,001 gr.

PROCEDIMIENTO.

a) Densidad real. -

1.- Pesar el frasco vacío y anotar su peso P_1 .

2.- Llenar el frasco con agua destilada hasta la marca del cuello, tapándolo una vez terminada esta operación. Limpiar con cuidado el agua que haya podido escurrir. Pesar el frasco lleno y anotar el peso P_2 . Anotar en este momento la temperatura del agua.

3.- Vaciar la mitad del agua del frasco. Pesarlo de nuevo sin tapón, anotar esta pesada P_3 .

4.- Añadir una muestra de 5 gr. de suelo y pesar P_4 .

5.- Colocar el frasco con el agua en el hornillo. Hacerlo llegar lentamente al punto de ebullición. Dejar hervir durante varios minutos (con esta operación se pretende expulsar el aire aprisionado en el interior del suelo).

6.- Enfriar el frasco hasta llevarlo a la temperatura anotada en 2. Llenarlo totalmente de agua y colocar el tapón. Pesar P_5 .

7.- La densidad real viene dada por la fórmula:

$$D_r = \frac{P_4 - P_3}{(P_2 - P_1) - A}$$

Siendo $A = P_5 - P_1 - (P_4 - P_3)$

b) Densidad aparente. -

1.- Introducir el cilindro metálico en una muestra de suelo con la estructura intacta. (Esta muestra proviene de una de las secciones que se hacen en los cartuchos utilizados por la sonda). La muestra debe conservar una cierta humedad, pues de lo contrario se fragmentaría al introducir el cilindro. (En caso de que se haya secado, se puede intentar humedecerla sobre papel de filtro o tejido de papel húmedo de manera que el agua ascienda por capilaridad. No introducir directamente la muestra en agua). La superficie de la muestra donde se em--

pieza a introducir el cilindro debe ser lo más lisa posible.

2.- La introducción del cilindro se prosigue golpeando cuidadosamente sobre una madera aplicada sobre el cilindro. Evitar que al final de la operación, la madera llegue a golpear la muestra.

3.- Cuando el borde superior (no cortante) del cilindro, ha ya enrasado con la superficie de la muestra, proceder a vaciar la tierra de alrededor del cilindro. Cuando éste puede cogerse, removerlo ligeramente de manera que se pueda extraer de tal manera que se presente con un exceso de tierra en la parte del borde cortante.

4.- Enrasar la superficie del suelo con el borde cortante, por medio de un cuchillo bien afilado (¡Corte limpio!).

5.- Introducir el cilindro, con el suelo que contiene, durante 24 horas en la estufa a 105° C.

6.- La densidad aparente (D_a) viene dada por la fórmula:

$$D_a = \frac{P_1 - P_2}{V}$$

Donde:

P_1 -- peso del cilindro más el suelo.

P_2 -- peso del cilindro vacío.

V -- volumen interno del cilindro.

V - SALINIDAD.

Medida de la salinidad del suelo por la conductividad eléctrica. La salinidad del suelo se deduce de la conductividad de un extracto obtenido, a partir de una pasta de suelo mezclado con agua. Aunque la conductividad puede medirse en extractos obtenidos a partir de mezclas de agua y suelo en proporciones fijas (p. ejem. 5:1), el método de preparar una pasta con agua hasta que se alcanza un punto característico determinado (saturación), ofrece la ventaja de que cada tipo de suelo recibe una cantidad mayor de agua a medida que su textura es más fina, y su capacidad de retención más alta.

Esto se aproxima más a las condiciones naturales, que si cada muestra hubiese sido tratada con una cantidad fija de agua. La cantidad de agua que se añade a la muestra hasta obtener el punto de saturación característico se llama porcentaje de saturación, y está relacionado con la capacidad de campo. Además el uso de mayores proporciones agua:suelo (p. ejem. extracto 5:1) conduce a concentraciones y proporciones de sales distintas de las que son de esperar en el campo.

La conductividad del extracto obtenido a partir de la pasta saturadora nos da un índice del grado de adecuación del suelo para distintos cultivos. Expresando la conductividad en mmhos/cm a 25^o C resulta la siguiente escala:

Conduc- tividad a 25° C en mmhos	Los efec- tos de la salinidad son des- preciables	La produc- ción de - cultivos - muy sensi- bles pue- den ser - afectadas.	Las produc- ciones de - muchos cul- tivos son - afectados.	Sólo algu- nos culti- vos muy - toleran- tes dan - produccio- nes satis- factorias	Sólo un pe- queño nú- mero de - cultivos - da produc- ción.
	0	2	4	8	16

Para la medida de la conductividad se emplea un puente de Wheatstone provisto de un corrector automático para el efecto de la temperatura y una célula en forma de pipeta con electrodos en su interior. El extracto se obtiene de la pasta por medio de un filtro de vacío (Büchner).

Riesgo de alcalinización del suelo. El riesgo de la saturación con iones Na^+ del complejo absorbente del suelo puede estimarse a partir de la proporción de iones Na^+ , Ca^+ y Mg^+ presentes en el extracto.

El método más rápido consiste en la determinación del Ca^+ + Mg^+ por medio del versenato (EDTA).

En la figura 1 se representa el diagrama que puede ser utilizado para clasificar los suelos respecto al riesgo de alcalinización; en esta clasificación intervienen simultáneamente la concentración total de sales solubles, y la proporción de Ca y Mg frente al Na.

MATERIAL.

Puente de Wheatstone. Puente de conductividad "Solu bridge" RD 15 ("Industrial Instruments"; 89 Commerce Road, Cedar Grove, N. J. V. S. A.).

Este puente está accionado por energía de la red, provisto de un corrector de temperatura y un "ojo electrónico" para el balance. La escala de conductividad está graduada en mmhos. $\times 10^6$, y calibrada para una célula de conductividad de constante = 2. La escala abarca desde 0 hasta 1.000 mmhos./cm. $\times 10^6$ a 25° C.

Los resultados de los análisis se presentan más generalmente en mmhos/cm. Por lo tanto dicha escala abarca desde 0 hasta 10 mmhos/cm. utilizando la célula de constante igual a 2.

Para facilitar los análisis conviene utilizar dos clases de células.

A) Célula, constante = 1 (para aguas de riego y extractos de baja conductividad).

B) Célula, constante = 10 (para extractos de la alta conductividad).

La escala del puente del modelo citado queda modificada de la siguiente manera en el caso de que se utilicen las células anteriores.

a) Desde 0 ---- 5 mmhos./cm. a 25° C

b) Desde 0 ---- 50 mmhos./cm. a 25° C

Que son suficientes para abarcar todos los tipos de salinidad de suelos y aguas que pueden presentarse.

Por lo tanto, ajustado el corrector de la temperatura del puente a la de la solución, y siendo L la cantidad leída en el puente del modelo y características indicadas, los resultados en mmhos/cm. a 25° C. se calculan así:

a) Célula constante = 1

$$\text{Conductividad} = \frac{L}{100} \times 0,5 = \frac{L}{200} \text{ mmhos./cm. a } 25^{\circ} \text{ C.}$$

b) Célula constante = 10

$$\text{Conductividad} = \frac{L}{100} \times 5 = \frac{L}{20} \text{ mmhos./cm. a } 25^{\circ} \text{ C.}$$

Para asegurarse de la exactitud del funcionamiento del puente y de las células, debe procederse, de cuando en cuando, a la lectura de la conductividad de una solución saturada de SO_4Ca . La conductividad de esta debe ser de 2,2 mmhos/cm. a 25° C.

Debe seguirse las instrucciones del fabricante del puente y de las células, para la conservación y reparación de éstas, en caso de desplatinado, por ejemplo:

Células de conductividad. - Un par de células de conductividad, tipo pipeta, provistas de bulbo de goma. Una, de constante = 1 (- Conductivity Cell. CEL-G1. K = 1,00 Industrial Instruments. 89 Commerce Rd. Cedar Grove. N.J. U.S.A.). Otra, de constante = 10 (Conductivity Cell CEL-G10. K = 10,0) (Del mismo fabricante).

Termómetro. - En grados Centígrados.

Embudos Wechner. - Estos embudos se utilizan para la extracción de la solución de la pasta molidada. Es conveniente utilizar embudos de dos tamaños. Uno con capacidad para unos 100 gr. de suelo y otro para 250 gr.

Embudo de cristal. - De unos 50 cm.

Papel de filtro. -

Espátula. - Espátula doble metálica "IRISA".

Bomba de vacío. - El tipo de bomba depende fundamentalmente de la cantidad de extracciones que se hagan simultáneamente, y por lo tanto del caudal. Una depresión de 20 cm. de Hg. es suficiente.

Bureta y pipetas. -

Copa de plástico. - (medidor). 6,1 mm. de diámetro por 17,18 mm. de profundidad, para medir 50 mg. del "indicador-tampón".

Reactivos:

Solución saturada de SO_4Ca . - Esta solución sirve para controlar la exactitud de las indicaciones del puente y célula de conductividad y además como reactivo para la determinación de la necesidad de calcio soluble. Se prepara colocando SO_4Ca cristalizado hasta una altura de 1 cm. en una botella de 250 cc. agitar fuertemente durante un minuto. Dejar la botella en reposo. Los cristales en suspensión no interfieren la conductividad. Reponer los cristales y el agua a medida que se necesite.

Acido clorhídrico 3N. - Para determinación del CO_3Ca .

Reactivo DDC. - Cristales de Dietilditiocarbamato sódico.

"Indicador-tampón". - Pegar:

10,66 gr. CO_3Na_2

8,4 gr. CO_3HNa

7,6 gr. Etileno-diamino-tetracetato disódico magnésico.

0,01 gr. Negro de eriocromo T. (Pulverizar en un mortero y pasar por tamiz de 60 mallas).

Mezclar todos estos productos.

Reactivo EDTA. - Disolver 2 gr. de etileno-diamino-tetracetato disódico en 900 cc. de agua. Standardizar esta solución con otra 0,01 N de Cl_2Ca según norma de Manual n° 60 del Departamento de Agricul

tura U.S.A. ajustando exactamente la normalidad a 0,01 diluyendo con H_2O .

Reactivo de calcio. - Se obtiene de la solución saturada de SO_4Ca , decantando la parte clara y añadiendo a cada volumen 2 de agua destilada. Usar esta solución en una botella de polietileno (1 litro).

Para valorar este reactivo tomar 5 cc., añadir uno o dos cristales de DDC. Agitar hasta disolver. Añadir una medida de plástico del indicador-tampón. Agitar. Añadir EDTA con la bureta hasta el viraje a azul o verde. Anotar los cc. de EDTA consumidos.

La solución de SO_4Ca debe tener 10 miliequivalentes/litro.

$$\frac{\text{cc. de EDTA} \times 1.000 \times \text{normalidad}}{\text{cc. de sol. } SO_4Ca} = \text{miliequivalentes/litro.}$$

La normalidad = 0,01.

PROCEDIMIENTO. -

Conductividad del extracto saturado de un suelo. - Preparación del extracto a partir de pasta saturada.

1.- Preparar la pasta saturada. Para ello se colocan, en una cápsula, de 100 a 150 gr. de suelo, se utilizará mayor cantidad cuanto más arcillosa sea la muestra. Se va añadiendo agua, removiendo con una espátula hasta que la pasta alcanza un punto característico de saturación. Este punto se reconoce porque la pasta brilla a la luz y se desliza libremente a lo largo de la espátula y de la cápsula cuando ésta se inclina. En ningún caso debe observarse agua sobre-nadante. El amasado debe ser cuidadoso y la homogeneización lo más perfecta posible (sobre todo en el caso de muestras de textura fina). Es preferible hacer la operación lentamente a fin de que la arcilla tenga tiempo de hincharse.

2.- Colocar un papel de filtro en el embudo Büchner. Depositar con la espátula una porción de la pasta en el centro del papel de filtro de modo que éste vaya absorbiendo agua y adaptándose al fondo del embudo. A continuación se va añadiendo la totalidad de la pasta hasta enrasar con los bordes del embudo. (Cuando el suelo sea muy arcilloso y sean necesarias grandes cantidades de suelo - 250 gr. por ejemplo - habrá que emplear el tipo grande de Büchner).

3.- Introducir el vástago del Büchner en uno de los orificios

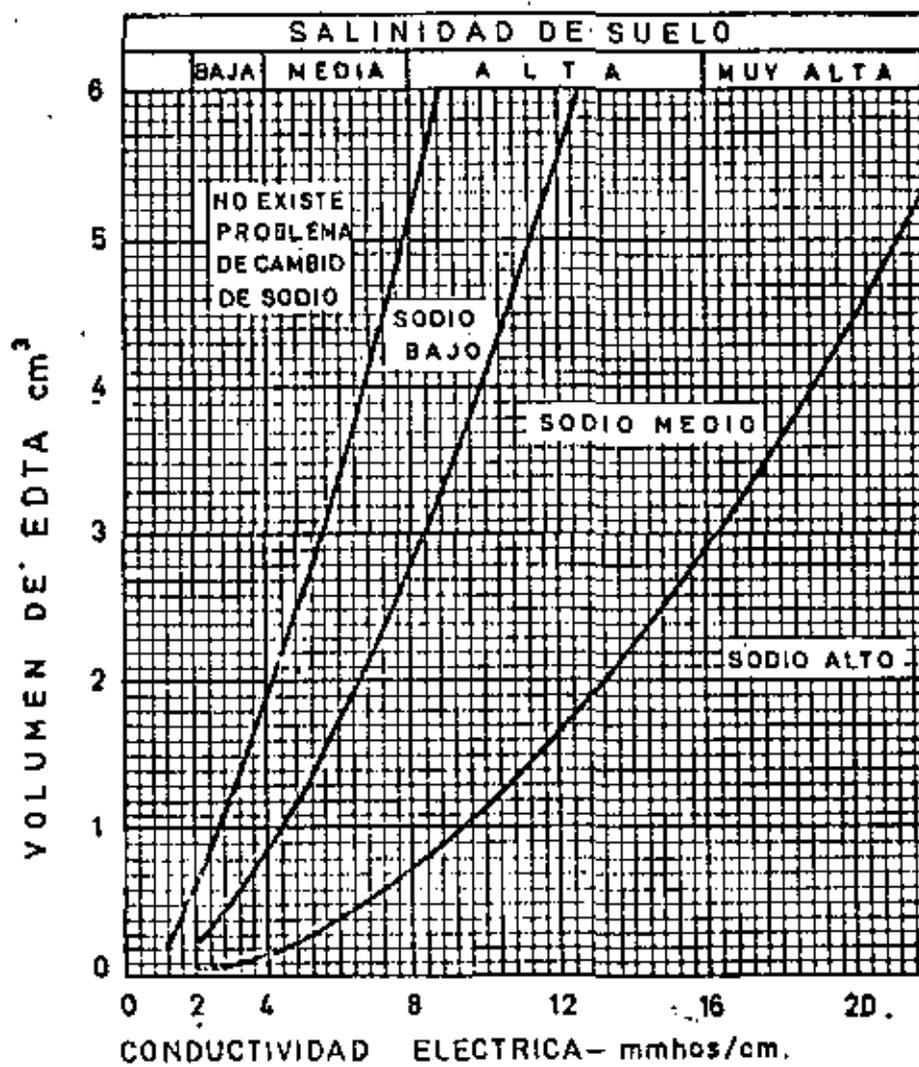


GRAFICO nº 1.

del frasco, y aplicar el vacío hasta que se haya recogido una cantidad de extracto suficiente (15 a 20 cc.). Si el extracto comienza a salir turbio verter esta primera parte y esperar hasta que la solución aparezca clara.

4.- Medir la temperatura del extracto y ajustar a esta temperatura el corrector automático del puente de Wheatstone.

Introducir la célula de conductividad en el extracto y llenar y vaciar alternativamente la célula (por medio de la pera de goma) 2 ó 3 veces, a fin de limpiar ésta del agua destilada o de las anteriores soluciones que ha contenido. Llena la célula de manera que los dos electrodos estén cubiertos por la solución, abrir el circuito y establecer el balance del puente por medio del ojo electrónico colocado en la parte superior de éste. Anotar la lectura.

5.- El resultado de la medida es la conductividad del extracto a 25° C. en cmhos/cm. En caso de que la constante de la célula utilizada no corresponda a aquella para la cual está calibrado el puente, tener en cuenta las observaciones citadas al hablar del puente de Wheatstone.

OBSERVACIONES.

Terminada una serie de medidas la célula debe guardarse en agua destilada.

Determinación del Ca^{++} + Mg^{++} en el extracto saturado.

1.- Introducir en un recipiente 1 cc. del extracto obtenido para el análisis de salinidad.

2.- Diluir hasta 5 cc. con agua destilada.

3.- Añadir 1 ó 2 pequeños cristales de reactivo DDC; remover hasta que se disuelvan.

4.- Añadir una medida (utilizando la pequeña copa de plástico) del "indicador-tampón". Cuando éste se haya disuelto, el color de la solución debe ser rojo vinoso.

5.- Añadir el reactivo EDTA gota a gota con la bureta hasta que el color de la solución vire desde el rojo vinoso a azul o verde agitando simultáneamente.

6.- El suelo puede clasificarse en tipos según el riesgo de alcalinización utilizando el diagrama adjunto (Nº 1). En ordenadas se -

busca la cantidad de reactivo EDTA (cc.) gastados, y abscisas la conductividad en mhos/cm.

CONTENIDO DE YESO EN EL SUELO.

1.- Colocar 25 cc. de agua destilada y 5 gr. de suelo en una botella, agitar vigorosamente (a mano durante 2 minutos continuos, o a intervalos durante un tiempo más largo).

2.- Filtrar al vacío en embudo de cristal con papel de 11 cm. Conseguir más de 5 cc. de filtrado. La turbidez del filtrado no influye en este análisis.

3.- Añadir unos 5 cc. de acetona. Sacudir y esperar varios minutos hasta que el yeso haya precipitado.

4.- Limpiar el filtro de cristal secándolo con tejido de papel. Filtrar la solución de agua y acetona con un papel de filtro nuevo. Limpiar el recipiente y el precipitado del papel de filtro con 5 cc. o más de acetona.

5.- Extender el papel de filtro sobre una hoja de papel tirante (el yeso para arriba). Doblar hacia dentro los bordes opuestos del papel de filtro para que resulte una superficie de un tercio del diámetro. Cortar en bandas de 1 cm. a través de los dobleces. Colocar las partes dobladas y cortadas en un recipiente. Añadir todo resto de yeso que quede en el papel. Añadir 10 cc. (exactos) de agua destilada a este recipiente.

6.- Taponar, agitar durante un minuto. Leer la conductividad de la solución como se hace para la determinación de salinidad.

7.- Utilizar la curva de la figura para estimar el yeso contenido en el suelo.

NECESIDAD DE CALCIO SOLUBLE.

1.- Verter 100 cc. del "reactivo de calcio" en el frasco de agitado. Añadir 5 gr. de suelo. Tapar, y agitar fuertemente durante 1 minuto. Dejar reposar durante 5 minutos y fijarse si el suelo forma grumos. Esta formación de grumos (floculación) se reconoce cuando aparece una capa de líquido relativamente claro en la parte superior de la suspensión. La falta de floculación es prueba de que el suelo contiene una cantidad elevada de sodio cambiante y que se ha añadido una canti -

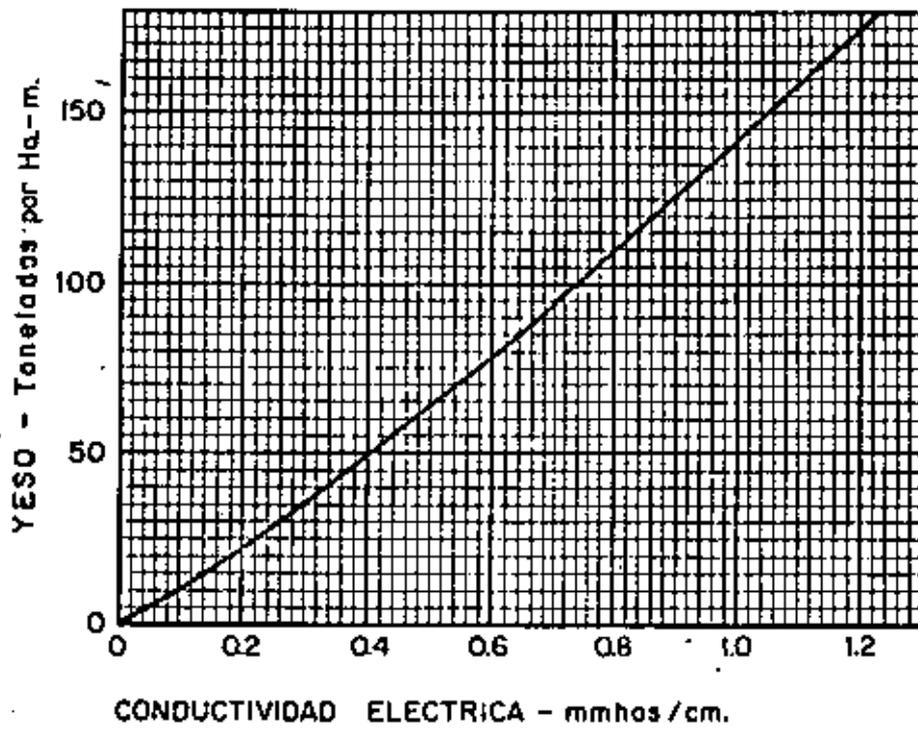


GRAFICO nº 2

dad insuficiente de "reactivo de calcio". En este caso, desechar el contenido del frasco de agitado, y volver a empezar el ensayo, utilizando la misma cantidad de "reactivo de calcio", pero menor cantidad de suelo (2,5 gr.). Si la capa de líquido claro no se forma en este último caso, el suelo contiene probablemente una cantidad extraordinariamente grande de sodio cambiante y debe ser estudiado, en detalle, por los métodos normales.

2.- Agitar la suspensión de nuevo, durante medio minuto. Filtrar al vacío usando el embudo de cristal y papel de 11 cm. Recoger 10 ó 15 cc. de extracto. Verter 5 cc. de este extracto en un recipiente limpio. Añadir 1 ó 2 cristales del reactivo DDC, agitar hasta disolución, y añadir entonces una medida (copa pequeña de plástico) del "indicador-tampón". Añadir EDTA con la bureta gota a gota hasta que el color de la solución cambie de rojo vinoso a azul o verde. Anotar los cc. de EDTA consumidos.

3.- De manera similar, anotar los cc. de EDTA consumidos por 5 cc. del "reactivo de calcio".

4.- Restar los cc. de EDTA consumidos por los 5 cc. de extracto de suelo, de la cantidad consumida por los 5 cc. de "reactivo de calcio". Multiplicar esta diferencia por 4 si se utilizaron 5 gr. de suelo, y por 8 si se utilizaron 2,5 gr. El producto es el índice de la necesidad de calcio soluble.

En algunas muestras de suelo cuya conductividad y titulación con EDTA está comprendida en los límites de la figura 1, pueden encontrarse valores negativos para el índice de necesidad de calcio soluble. Estos valores indican que el suelo contiene yeso.

Si se encuentran valores superiores a 10, usando 5 gr. de suelo se podía obtener un valor más conveniente, repitiendo la prueba esta vez con sólo 2,5 gr.

Interpretación del índice de necesidad de calcio soluble.

La necesidad de calcio soluble indica el exceso de sodio de cambio por encima del yeso que de forma natural puede encontrarse en el suelo. Por lo tanto es un índice de la cantidad de la enmienda necesaria para la corrección.

Una cantidad pequeña de sodio cambiante no es perjudicial, por lo que no hace falta enmienda a no ser que la necesidad de calcio soluble sea mayor que 2. El yeso es una enmienda adecuada para todo suelo

que tenga una cantidad apreciable de sodio cambiante.

La elección del producto utilizado como enmienda, debe hacerse en función del precio, excepto en el caso del azufre y ácido sulfúrico, que no deben ser aplicados en suelos que no contengan carbonatos alcalinoterreos.

Cantidades de enmienda recomendados, según el índice de necesidades de calcio soluble.

Índice de necesidad de calcio soluble.	Cantidad de enmienda necesaria por Ha - m de suelo		
	Azufre Toneladas	Acido sulfúrico Toneladas	Y e s o Toneladas
4	4,539	14,184	24,823
6	9,22	28,369	49,646
10	18,44	56,738	99,291

CARBONATOS ALCALINOTERREOS.

Humedecer el suelo con agua destilada. Añadir dos o tres gotas de ácido clorhídrico (3N) y anotar si se produce efervescencia. Esta indicaría si el suelo contiene carbonatos alcalinoterreos.

AGUAS DE RIEGO.

En las aguas de riego se realizan dos tipos de determinaciones. La primera de ellas (medida de la conductividad) da idea del contenido total en sales; la segunda sirve para determinar la proporción de iones $Ca^{+} + Mg^{+}$ en dichas sales. De la diferencia entre el contenido en $Ca^{+} + Mg^{+}$ y la conductividad del agua (que puede transformarse en miliequivalentes) se deduce el contenido en sales de sodio responsable de la alcalinización que se produciría en algunos suelos por la aplicación de tales aguas. Combinando los datos proporcionados por las dos determinaciones (conductividad y contenido en $Ca^{+} + Mg^{+}$) pueden clasificarse las aguas de riego en clases según el diagrama 3.

MATERIAL.

Puente de Wheatstone con corrector de temperatura.

Célula de conductividad.Termómetro.

Reactivos. (Los mismos que los utilizados para las determinaciones de salinidad en suelos).

PROCEDIMIENTO.Medida de la conductividad.

- 1.- Medir la temperatura de la muestra de agua.
- 2.- Vaciar la célula de conductividad, enjuagarla dos veces con el agua problema y dejarla llena de ésta.
- 3.- Ajustar el corrector de temperatura del puente a la temperatura del agua.
- 4.- Establecer el balance del puente mediante el ojo electrónico. Anotar la conductividad.

Contenido de Ca y Mg.

- 1.- Introducir en un recipiente 5 cc. del agua problema
- 2.- Añadir 1 ó 2 cristales del reactivo DDC. Agitar para disolver.
- 3.- Añadir una medida (con la pequeña copa de plástico) del indicador-buffer. Cuando éste se haya disuelto, el color de la solución será rojo vinoso.
- 4.- Añadir reactivo EDTA de la bureta gota a gota, hasta que la solución vire de rojo vinoso a azul o verde. Anotar los mm. de reactivo EDTA consumidos.

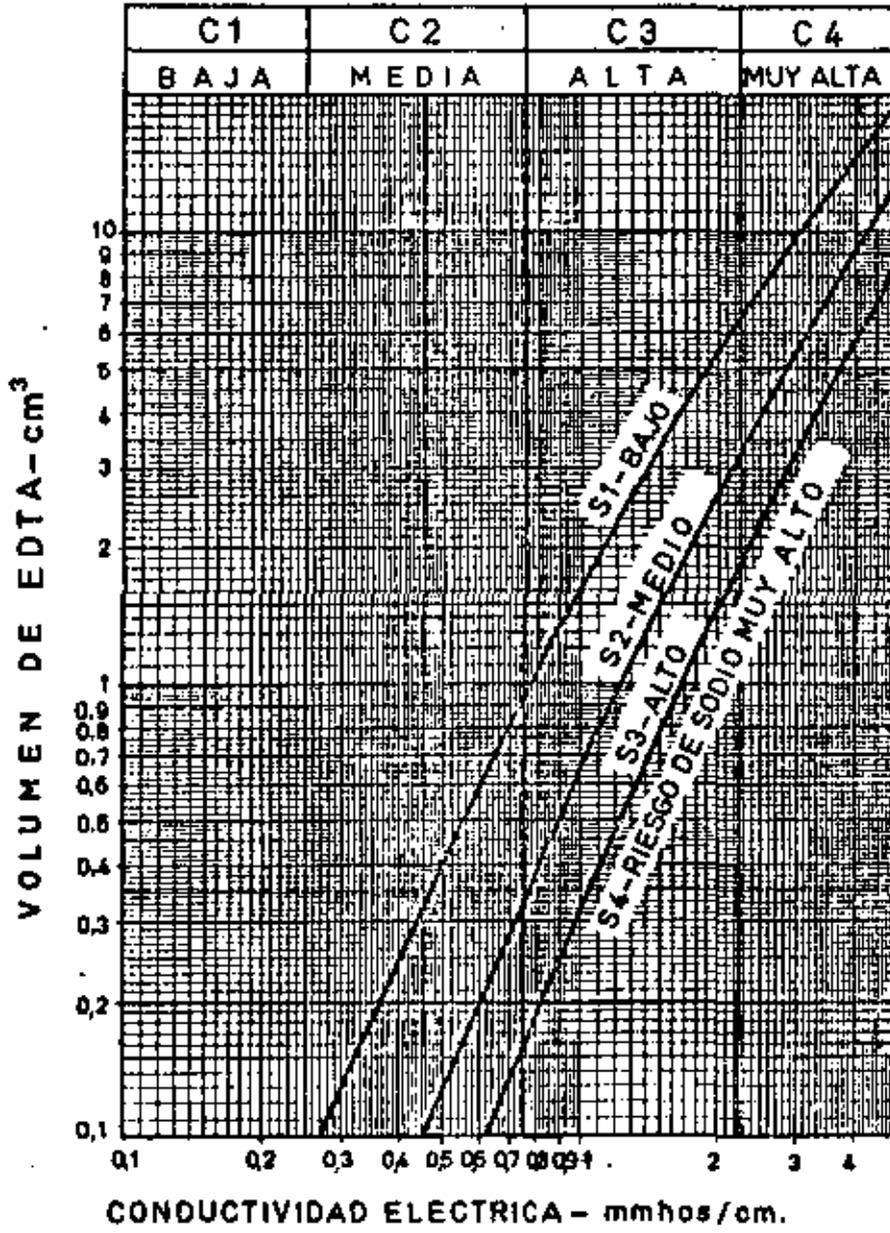
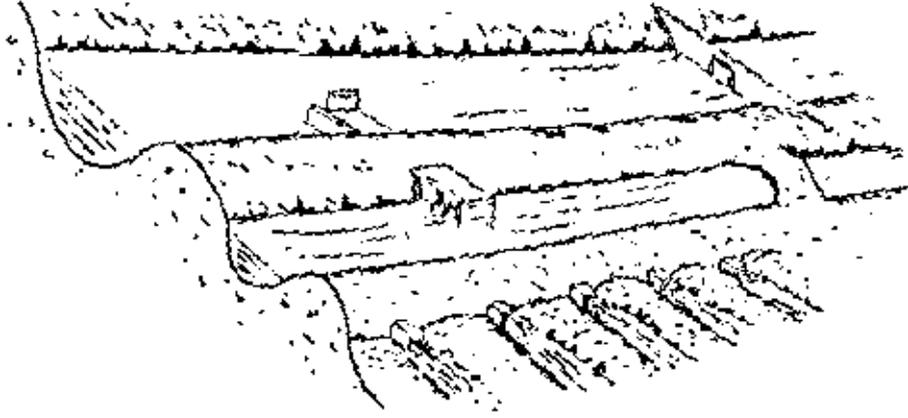
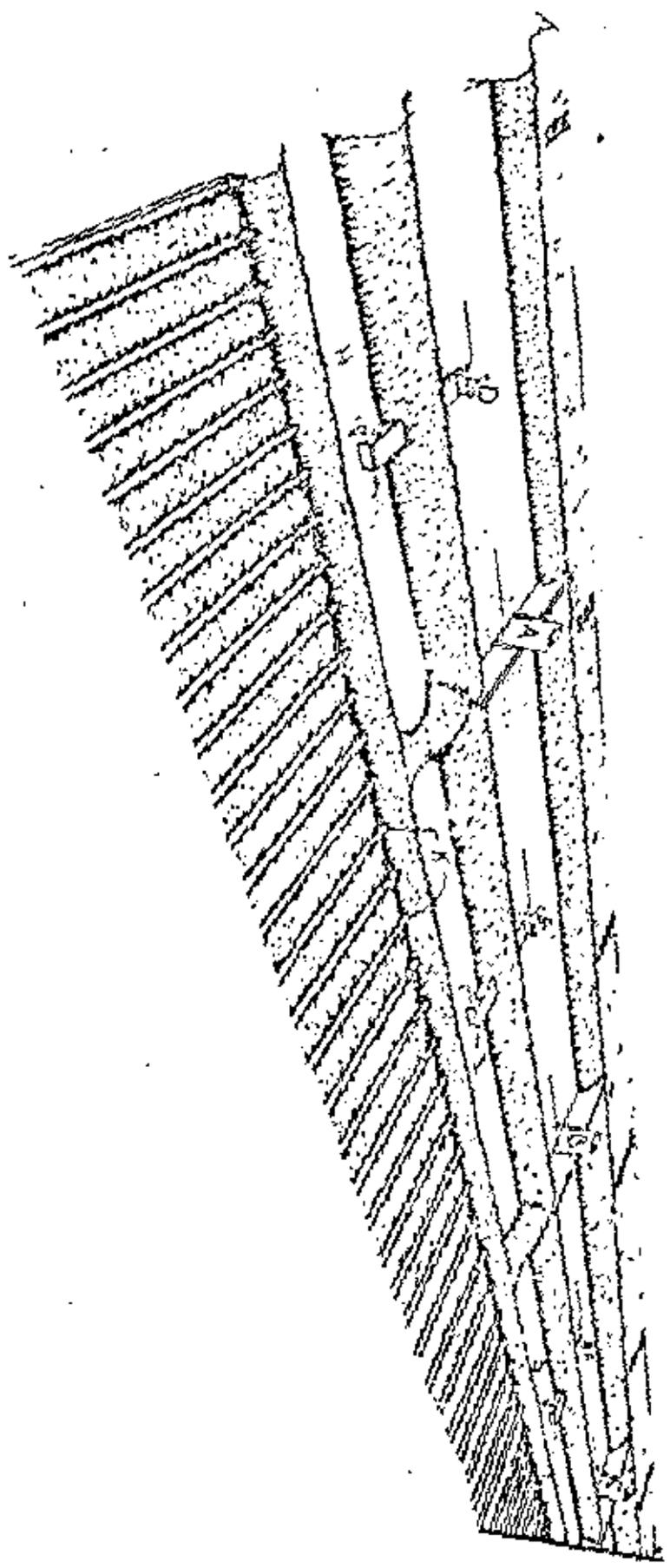


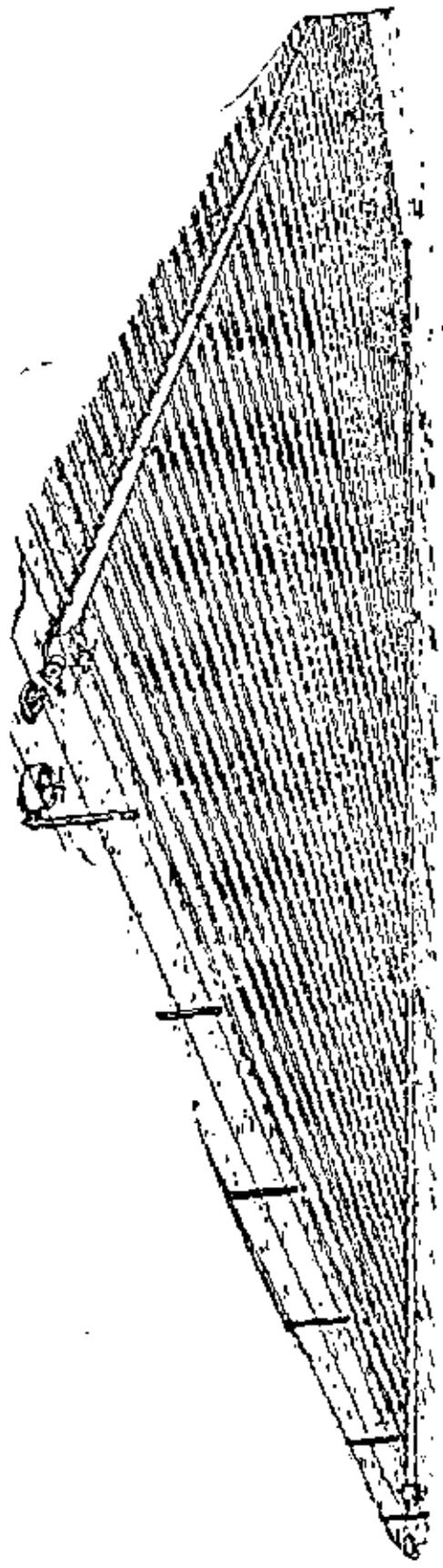
GRAFICO n° 3

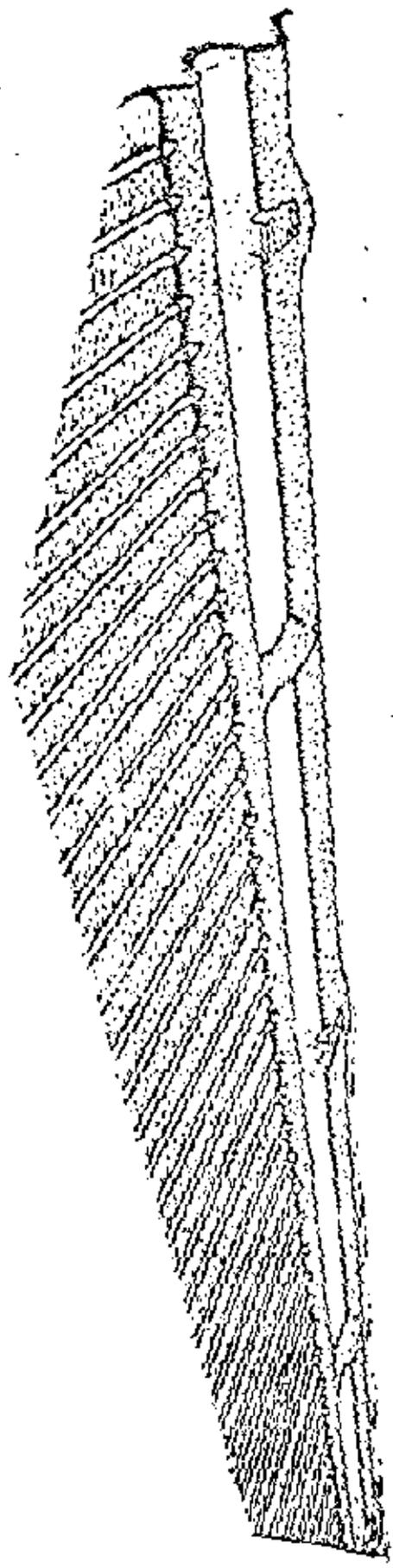
BIBLIOGRAFIA

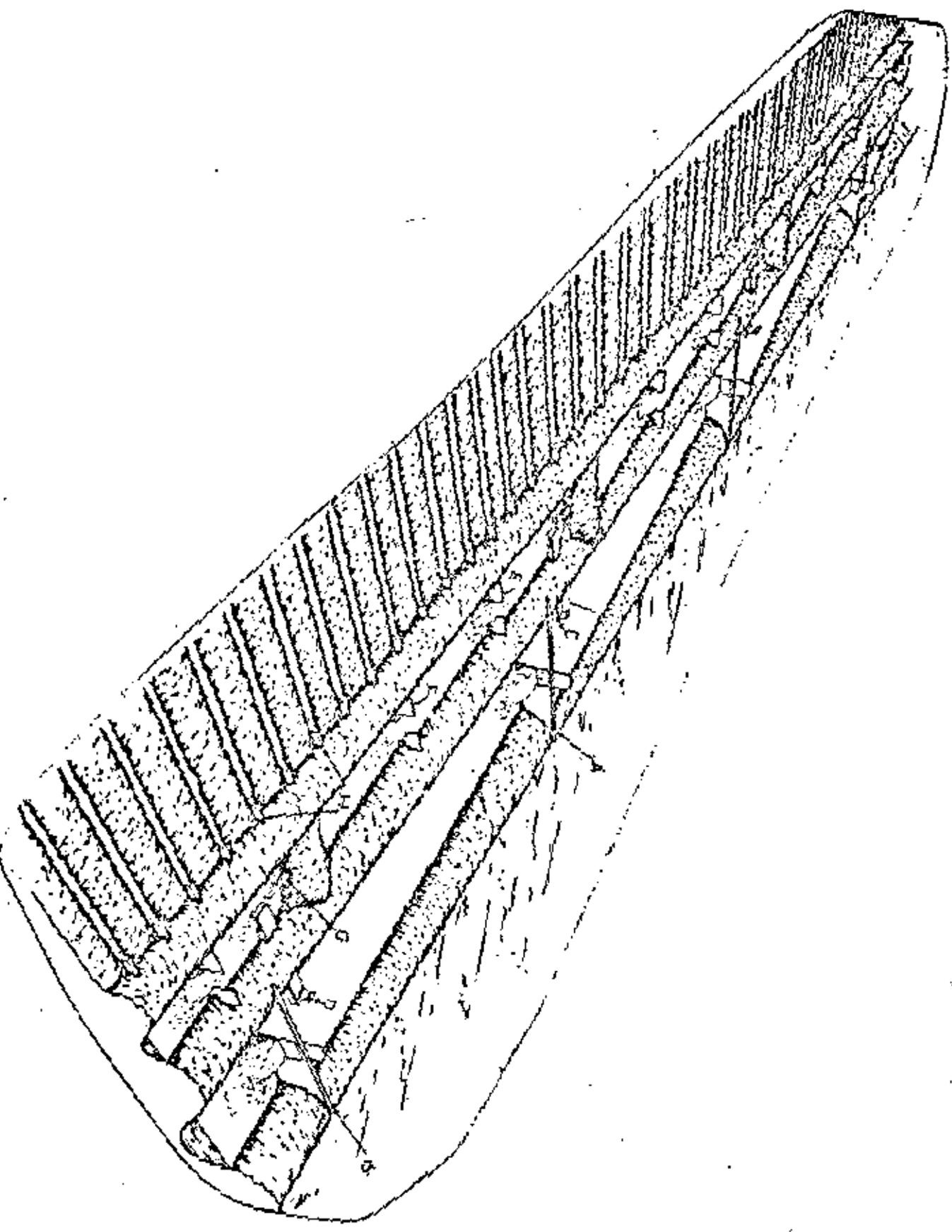
- 1 - Daver, L. D. (1956) Soil Physics. John Wiley - Nueva York.
- 2 - Durand J. H. (1958). Les sols irrigables. Imbert Algas.
- 3 - Richards, L.A. (Editor) (1954) Diagnosis and improvement of saline and Alkali soils. U.S.D.A. Handbook Nº 60.
- 4 - Richards, L.A.; Bower, C.A.; Fireman, M. (1956).
Tests for salinity and sodium status of soil and of irrigation water. U.S.D.A. Circular nº 982.
- 5 - United States Department of the Interior. Bureau of Reclamation Manual V - Irrigated Land Use.

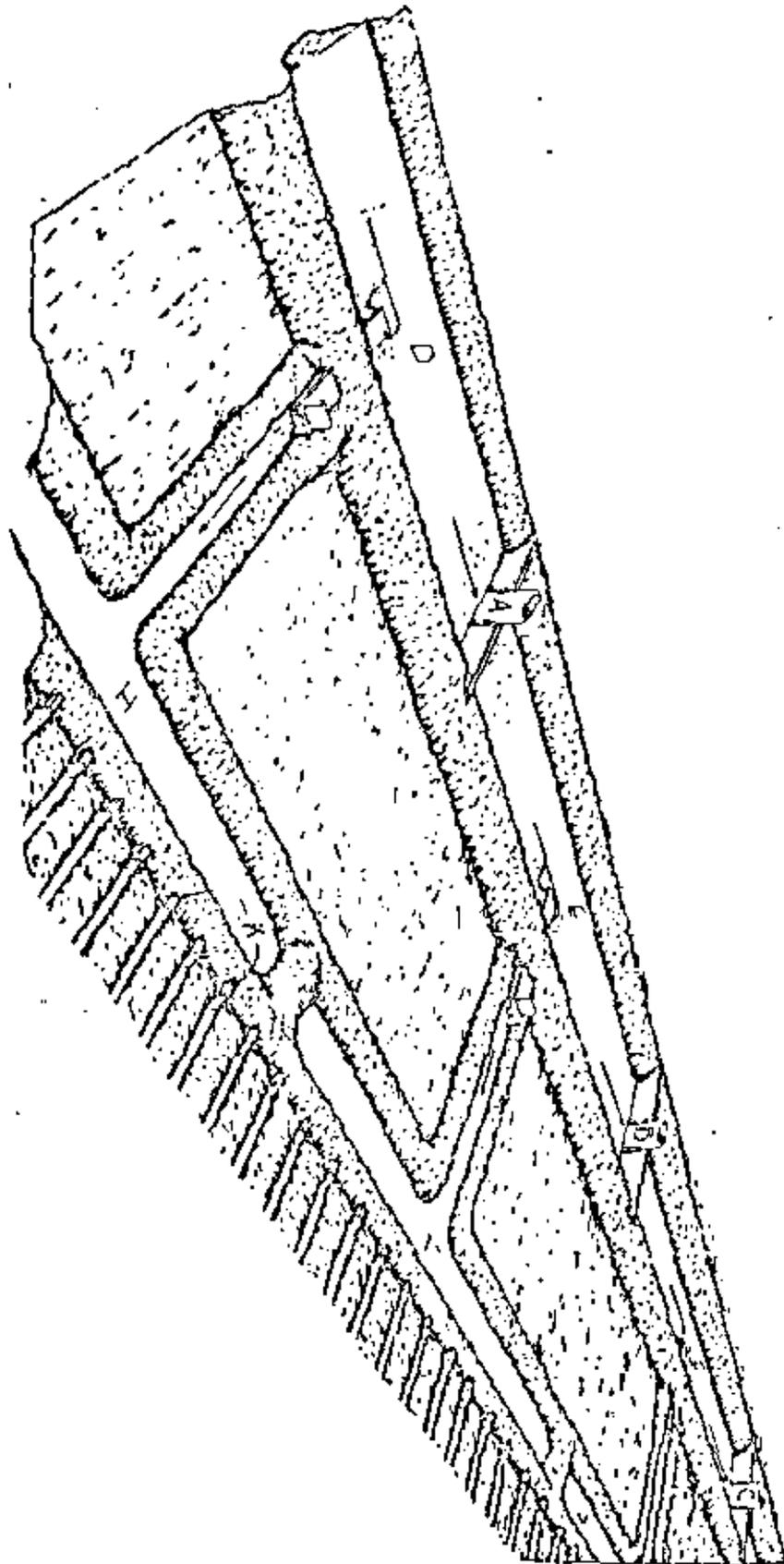


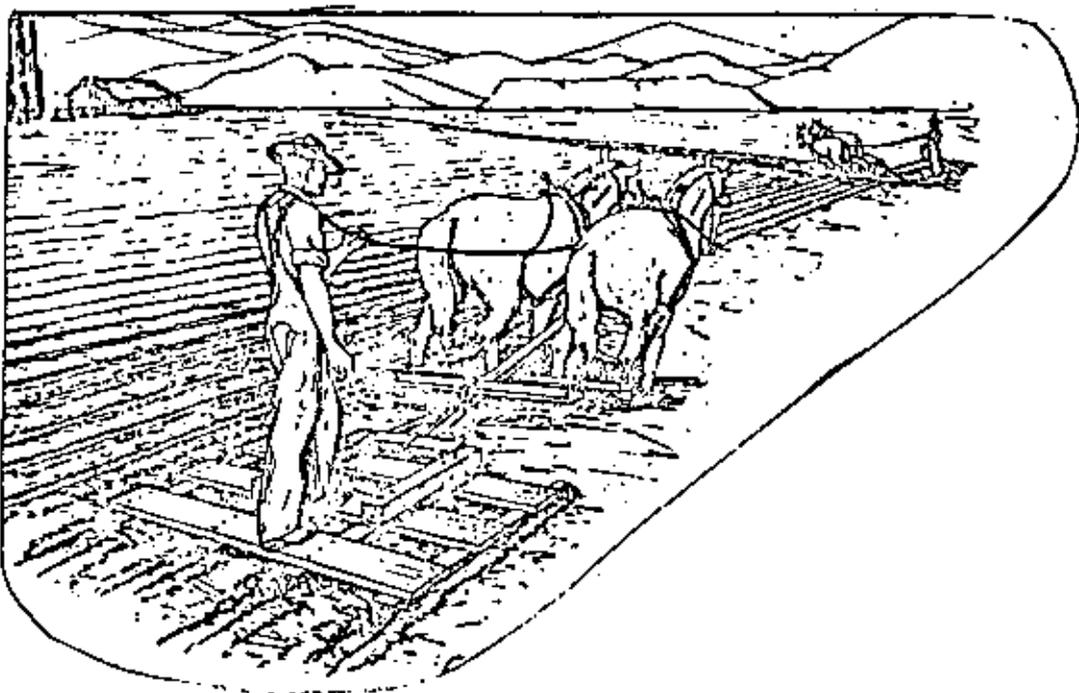
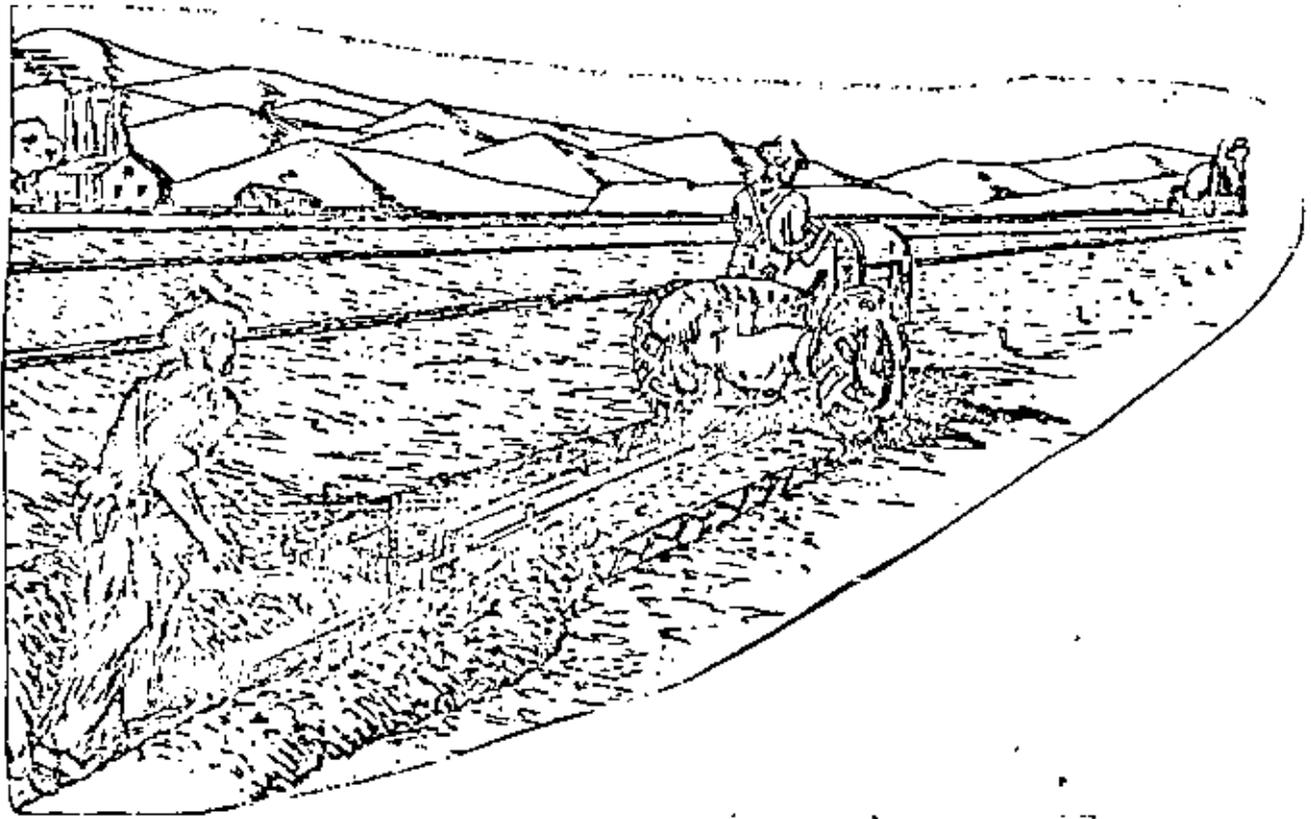




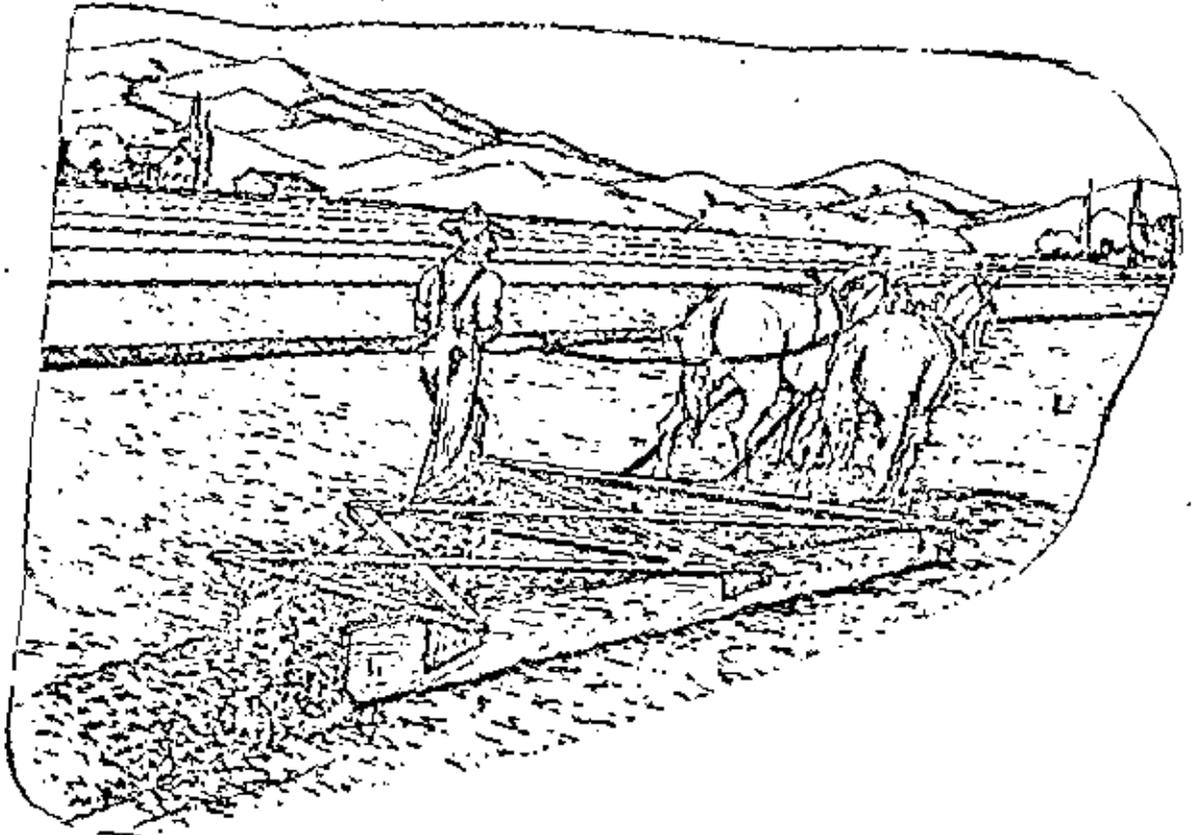




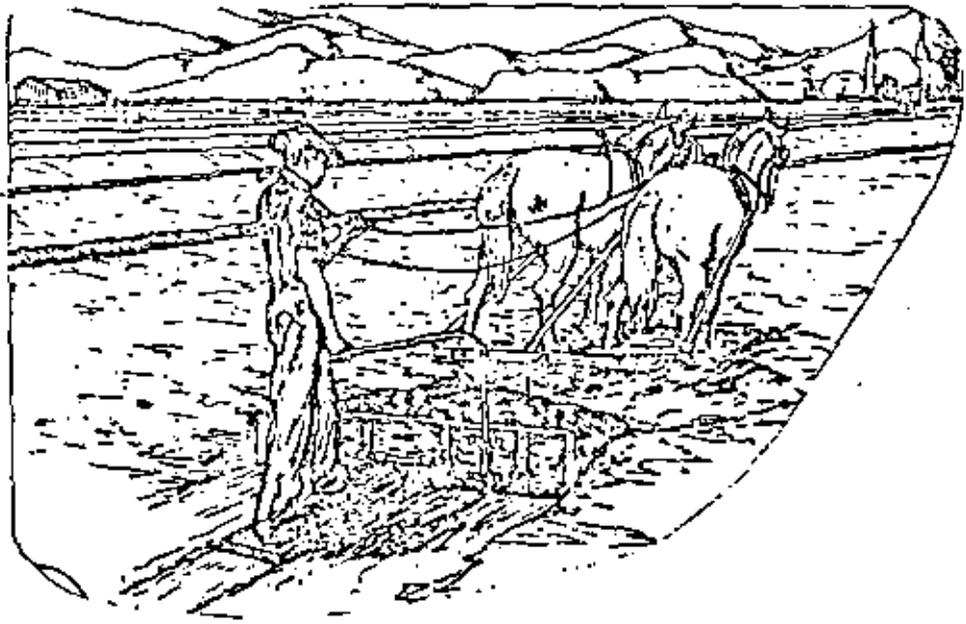




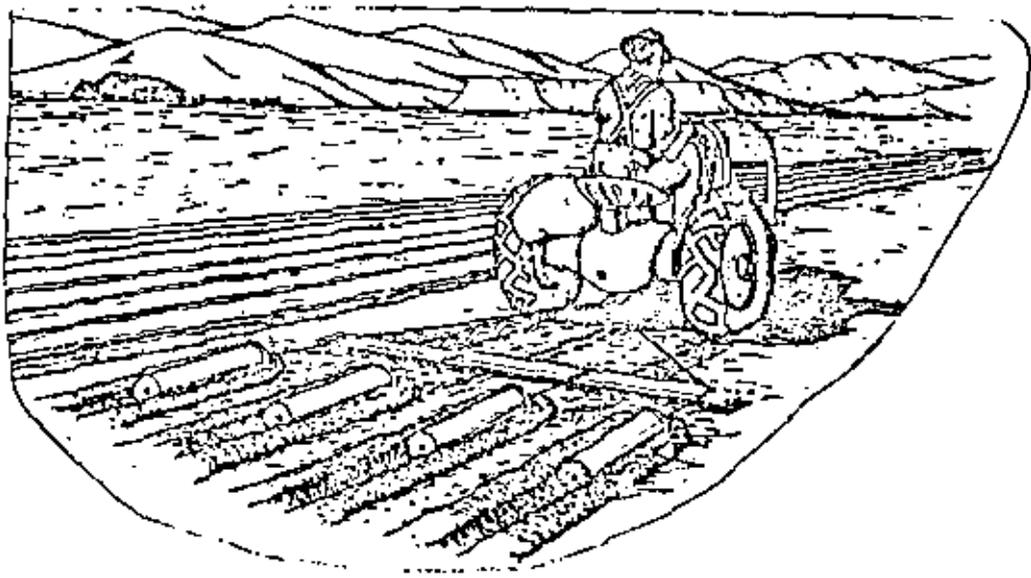
51



52



53





centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería . unam



MECANIZACION Y AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

RIEGO POR SURCOS

DR. FAUSTINO GARCIA LOZANO

JULIO, 1980



RIEGO POR SURCOS

13.3.- RIEGO POR SURCOS

La evaluación de un sistema de riego por surcos puede cumplir varios objetivos. Fundamentalmente, proporciona información sobre la perfección con que se está realizando el riego y orienta sobre las variaciones que se deben introducir cuando es defectuoso. Los criterios obtenidos de la evaluación pueden ser también aplicados a otras unidades de riego, distintas de aquella en la que se realizan las pruebas, cuando sus condiciones de suelo, cultivo, etc., son similares.

13.3.1.- Técnica de la evaluación

Mediante el proceso que a continuación se expone se pueden obtener información sobre los siguientes aspectos:

- 1) El valor del caudal o de los caudales empleados
- 2) Las características del avance del agua a lo largo de los surcos al dar entrada en ellos al caudal de riego.
- 3) El caudal máximo que puede utilizarse sin que se produzca el desbordamiento de los surcos o la erosión del terreno.
- 4) Las características de la infiltración del agua en los surcos.
- 5) Las condiciones en que se encuentran (estables, deteriorados, etc.).
- 6) El déficit de humedad del terreno.
- 7) La separación máxima entre surcos que permite garantizar un humedecimiento adecuado del terreno durante el riego.
- 8) La corrección del volumen de riego aplicado.
- 9) Forma de los surcos, anchura humedecida y profundidad.
- 10) Pendiente de los surcos.
- 11) Las características de la retirada del agua a lo largo de los surcos al cortar la entrada del caudal empleado.
- 12) Valor de la escorrentía para el caudal utilizado.
- 13) Textura y perfil del suelo.
- 14) Capacidad máxima de suministro de agua.

A partir de los datos obtenidos se pueden valorar: a) La eficiencia de distribución; b) la eficiencia de riego potencial del sistema; c) la eficiencia de aplicación.

El estudio dotenido de toda la información recogida puede aconsejar la introducción de algunas variaciones en la realización del riego, como por ejemplo:

- a) Utilizar un caudal diferente del empleado.
- b) Variar la longitud de los surcos.
- c) Cambiar la forma de los surcos.
- d) Cambiar el descenso tolerable de humedad, para el que debe comenzar el riego.
- e) Variar la separación entre surcos.
- f) Construir un depósito para regular el suministro de agua.
- g) Ajustar los distintos parámetros para conseguir que la duración del riego sea acorde con el suministro de agua, ó bien para que la comodidad del regador pueda ser mayor (cuando no sea aconsejable construir un depósito).
- h) Establecer un sistema de reutilización de agua que permita aprovechar la escorrentía, etc.

13.3.1.1.- Material necesario

Es preciso disponer de los utensilios siguientes:

- 1) Cinta métrica
- 2) Jalones o estacas para situar a lo largo de los surcos
- 3) Cronómetro
- 4) Medidores de caudal (aforadores Parshall de pequeño tamaño, vertederos, chapas con orificio, sifonos, recipientes calibrados, etc.

- 5) Barreno para suelos
- 6) Sonda para tomar muestras de suelos
- 7) Cilindros infiltrómetros
- 8) Útiles topográficos para determinar la pendiente de los surcos
- 9) Útiles para determinar la humedad del terreno
- 10) Impresos para anotar los datos registrados

13.3.1.2.- Procedimiento a emplear en el trabajo de campo

1º) Se elige un lugar de la parcela que sea representativo de sus características (las condiciones edafológicas deberían ser homogéneas). El suministro de agua debe ser tal que permita introducir caudales constantes en los surcos.

2º) Se seleccionan varios surcos (tres o más). Pueden ser alternos con el fin de que las observaciones necesarias se puedan realizar sin tener que pisar terreno humedecido.

3º) Se colocan estacas, o jalones, a lo largo del surco separadas unos 30 metros entre sí. La primera señal (estación 0) debe situarse un poco alejada de la cabecera del surco con el fin de que el caudal entrante se estabilice antes de tomar los datos. Se deben medir las cotas de los distintos puntos con el fin de determinar la pendiente.

4º) Se instala un aforador en la estación 0 de cada surco. Se colocan también aforadores para efectuar el ensayo de infiltración; es conveniente comprobar el ensayo en más de un lugar o surco. Generalmente se realiza en un lugar próximo a la cabecera del surco con el fin de que su duración sea mayor. Para terrenos de velocidad de infiltración moderada o alta los medidores se pueden distanciar unos 30 m., si la velocidad es baja la separación puede ser mayor (unos 60 m.).

También deben colocarse aforadores al final de los surcos con el fin de poder medir la escorrentía.

5º) Se determina el déficit de humedad del suelo y se compara con el descenso tolerable de humedad.

6º) Se introducen al menos tres caudales constantes (de diferente magnitud con el fin de cubrir la posible gama de valores del caudal). Si no fuesen constantes, deberían anotarse sus variaciones.

Es preferible utilizar cuatro caudales, de los cuales, uno debería ser suficientemente grande como para que provocase una ligera erosión (a menos que estuviese limitado por la capacidad del surco) (*), y otro, tan reducido, que difícilmente pudiese llegar al extremo inferior de la unidad. Los otros dos caudales deberían tener un valor intermedio entre ambos.

7º) Se anota el valor del caudal que circula por cada surco.

8º) Se anota el tiempo que tardan los distintos caudales en llegar a los sucesivos jalones.

9º) Se registran los datos del ensayo de infiltración. El ensayo debería hacerse durante todo el tiempo de riego, pero, en la práctica, puede acortarse algo. Para los terrenos de permeabilidad baja puede reducirse a tres horas siempre que el tiempo empleado por el agua en llegar al final del surco sea menor.

10º) Obsérvase si se provoca erosión y si se desborda algún surco. Si los surcos son nuevos al principio se producirá un enturbiamiento del agua que no se considerará como erosión. Frecuentemente se produce algún arrastra de suelo al introducir el caudal, pero al cabo de un corto período de tiempo el terreno queda estabilizado; tampoco, en este caso, se considerará que existe erosión.

(*) Criddle da como valor aproximado del caudal (por surco) máximo no erosivo:

$$Q(1/\text{seg}) = \frac{0,531}{s} \quad \text{donde la pendiente, } s, \text{ viene expresada en \%}$$

11º) Debe observarse el caudal que sale por el extremo inferior de los surcos. Si se desea una evaluación detallada del sistema, se debe aforar el caudal que se vierte en varios intervalos de tiempo, o bien, estimarlo como porcentaje del caudal entrante.

La utilización o de un segundo caudal (o incluso de varios caudales sucesivos decrecientes), proporciona unos excelentes resultados siempre que el sistema de riego está correctamente diseñado. En estos casos el caudal se debe reducir cuando se aprecie que se está produciendo una importante escorrentía, que debería medirse para actuar con mayor seguridad.

12º) Si, una vez cortada la entrada del agua en los surcos, permanece en ellos, hasta desaparecer, durante un apreciable intervalo de tiempo, debería anotarse ese tiempo (T_e), puesto que supone un periodo adicional durante el cual el agua puede infiltrarse en el terreno. En muchos casos, en el sistema de surcos, este periodo es despreciable.

13º) Debe comprobarse la penetración en profundidad del agua y su difusión lateral con objeto de controlar el frente de humedecimiento. Para ello puede utilizarse una barrena o sonda para obtener muestras de suelos. Las pruebas deben hacerse, el día siguiente al del riego, en varios puntos de cada surco. Puede obtenerse una información más completa haciendo unas calicatas que permitan la observación más directa.

13.3.1.3.- Utilización de los datos obtenidos

La información de campo es conveniente que quede representada gráficamente con objeto de facilitar su interpretación, de la que se obtendrán las conclusiones oportunas.

Las curvas de avance, que indican el tiempo que tarda el agua en llegar a cada uno de los jalones o estacas colocados, se representan en coordenadas rectangulares. Es, a veces, conveniente extrapolar las curvas de

avance más allá de la longitud real de la parcela; se utilice entonces papel logarítmico sobre el cual su curvatura será muy ligera.

La curva de retirada, que indica el momento en que desaparece el agua en los distintos puntos de cada surco, también se puede representar; generalmente, se considera una línea recta horizontal, a menos que los datos de campo indiquen desviaciones significativas.

Las curvas referentes a los ensayos de infiltración se representan en papel logarítmico de varios ciclos. Las líneas de los distintos ensayos se representan por separado. Si son similares se puede añadir una línea que represente las condiciones medias, la cual reflejará aproximadamente el valor real.

13.3.1.4.- Casa práctica

Se desea evaluar la calidad de riego realizado sobre una parcela, cultivada de maíz, de longitud 360 m., que está dividida por la mitad por una reguera auxiliar de distribución. El suelo es franco arenoso y de perfil homogéneo; se ha estimado que el agua útil es de 45,7 mm. por cada 30 centímetros de profundidad. Los surcos ya habían sido utilizados en riegos anteriores; se encuentran limpios y en buen estado y su distancia entre ejes es de 0,90 m; su pendiente es de 0,2%.

El agua se mantiene circulando por los surcos durante 10 horas por motivos relacionados con la mano de obra sin que se utilice un segundo caudal.

Durante la evaluación se utilizaron tres caudales: el empleado normalmente en el riego, que aforado resultó ser de 66,24 l/min, y otros dos, inferiores a él, de 31,62 y 15,14 l/min.

Un azarbo, situado junto a la reguera intermedia, recoge una apreciable cantidad de aguas de escorrentía cuando se emplea el mayor de los caudales indicados.

13.3.1.4.1.- Determinación del descenso de humedad

Se determinó el descenso de humedad hasta una profundidad de 1.20 m obteniéndose los siguientes resultados:

0 a 30 cm	40,4 mm.
30 a 60 cm	30,4 mm.
60 a 90 cm	15,2 mm.
90 a 120 cm	5,0 mm.

La suma de las cifras anteriores supone un descenso de 91 mm. La zona radicular es de 1 m., pero ha de aumentar puesto que el cultivo está en periodo de desarrollo.

13.3.1.4.2.- Ensayos y curvas de infiltración

Las pruebas de infiltración se realizaron en el surco que conducía el caudal de 66,24 l/min. instalando, previamente, aforadores Pars-hall en las estaciones 0 y 2 (separadas entre sí 60 metros).

En las tres primeras columnas de la Figura 19 se resumen los datos registrados durante el ensayo de campo. La columna (4) se ha obtenido por diferencia entre las (2) y (3).

En la columna (5) se indica el factor que permite transformar los caudales infiltrados, columna 4, en alturas de agua infiltradas por unidad de tiempo, columna (6); puesto que la superficie que absorbe dichos caudales es de 0,90 m x 60 m. (anchura del surco x longitud del mismo) el valor del factor en este caso será:

$$I_{(\text{mm/h})} = \frac{Q(\text{l/min})}{0,90 \text{ m} \times 60 \text{ m}} \times 60 \text{ min/h} = Q \frac{60}{54} = 1,11 Q$$

es decir $f = 1,11$

ENSAYO DE INFILTRACION Y DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE LAS FUNCIONES DE INFILTRACION

(1)		(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
NOTA	TIEMPO	CAUDAL ENTRADA (l/min.)	CAUDAL SALIDA (l/min.)	CAUDAL INFILTRADO (l/min.)	FACTOR	INFILTRACION (mm/h.) I	x=log T	y=log I	Σ x ²	Σ xy
	ADUJALADO T (min.)									
	0	69,13								
	5	64,73	45,56	19,69	1,11	21,64	0,69897	1,33825	0,48858	0,930036
	11	64,73	52,24	14,00	1,11	15,54	1,04139	1,19145	1,034590	1,247500
	20		54,50	11,74	1,11	13,03	1,30103	1,11494	1,692579	1,452570
	34		55,40	9,84	1,11	10,92	1,53148	1,03822	2,345431	1,590013
	51		55,40	9,84	1,11	10,92	1,70757	1,03822	2,915795	1,772833
	78		55,40	9,84	1,11	10,92	1,89209	1,03822	3,500004	1,954406
	115	69,13	58,67	7,57	1,11	8,40	2,06270	0,52823	4,266454	1,904664
							Σx=10,23323	Σy=7,69416	Σx ² =16,353645	Σxy=10,859342

VELOCIDAD DE INFILTRACION INSTANTANEA.- $I = aT^b \left\{ \begin{array}{l} I \text{ (mm/h.)} \\ T \text{ (min)} \end{array} \right.$ $\log I = \log a + b \log T$ $y = b + \log a$

PENDIENTE: $b = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} = \frac{10,859342 - \frac{10,23323 \times 7,69416}{7}}{16,353645 - \frac{(10,23323)^2}{7}} = -0,263843$

ORDENADA EN ORIGEN: $\log a = y - \frac{\sum xy}{\sum x} = \frac{\sum y}{n} - b \frac{\sum x}{n} = \frac{7,69416}{7} - (-0,263843) \times \frac{10,23323}{7} = 1,400915$; $a = 30,96$

$I = a T^b \left\{ \begin{array}{l} I \text{ (mm/h.)} \\ T \text{ (min)} \end{array} \right.$ $I = 30,96 T^{-0,263843}$

ALTURA DE AGUA INFILTRADA.- $A = \frac{a}{60(b+1)} T^{b+1} \left\{ \begin{array}{l} A \text{ (mm.)} \\ T \text{ (min.)} \end{array} \right.$ $\log A = \log \frac{a}{60(b+1)} + (b+1) \log T$; $A = (b+1) x + \log \frac{a}{60(b+1)}$

PENDIENTE: $b + 1 = -0,263843 + 1 = 0,731157$

ORDENADA EN ORIGEN: $\frac{a}{60(b+1)} = \frac{30,96}{60(-0,263843 + 1)} = 0,71$

$A = 0,71 T^{0,73} \left\{ \begin{array}{l} A \text{ (mm.)} \\ T \text{ (min.)} \end{array} \right.$

Los valores de los parámetros a y b , de la función que relaciona la velocidad de infiltración instantánea con el tiempo ($I = a T^b$), han sido calculados a partir de las parejas de valores (T, I) que figuran en las columnas (1) y (5). Para ello se ha tenido en cuenta que la relación $I = a T^b$, en coordenadas logarítmicas, viene representada por una recta, de la cual a y b son, precisamente, la pendiente y ordenada en el origen, por lo que pueden calcularse, fácilmente, mediante la obtención de la recta de regresión correspondiente a las parejas de valores (T, I) antes citadas.

La determinación de los parámetros de la función que relaciona la altura de agua infiltrada con el tiempo transcurrido ($A = \frac{a}{60(b+1)} T^{b+1}$), se ha realizado siguiendo análogos criterios.

En la Figura 19 se dan los cálculos necesarios para la obtención de las funciones que relacionan la velocidad de infiltración instantánea y la altura de agua infiltrada con el tiempo transcurrido desde el comienzo del ensayo. Las funciones obtenidas son las siguientes:

$$I = 30,96 T^{-0,2689}$$

$$A = 0,71 T^{0,7057}$$

donde: I es la velocidad de infiltración en mm/hora, A la altura de agua infiltrada en mm. y T el tiempo transcurrido, desde el comienzo del ensayo, en minutos.

En la Figura 20, sobre papel logarítmico, se han representado las dos funciones anteriores, que, con los ejes de coordenadas empleados, aparecen como rectas. También se han señalado los puntos representativos de las parejas de valores (T, I) , a partir de las cuales se determinaron los parámetros que definen dichas funciones.

FIGURA 20 - CURVAS DE INFILTRACION

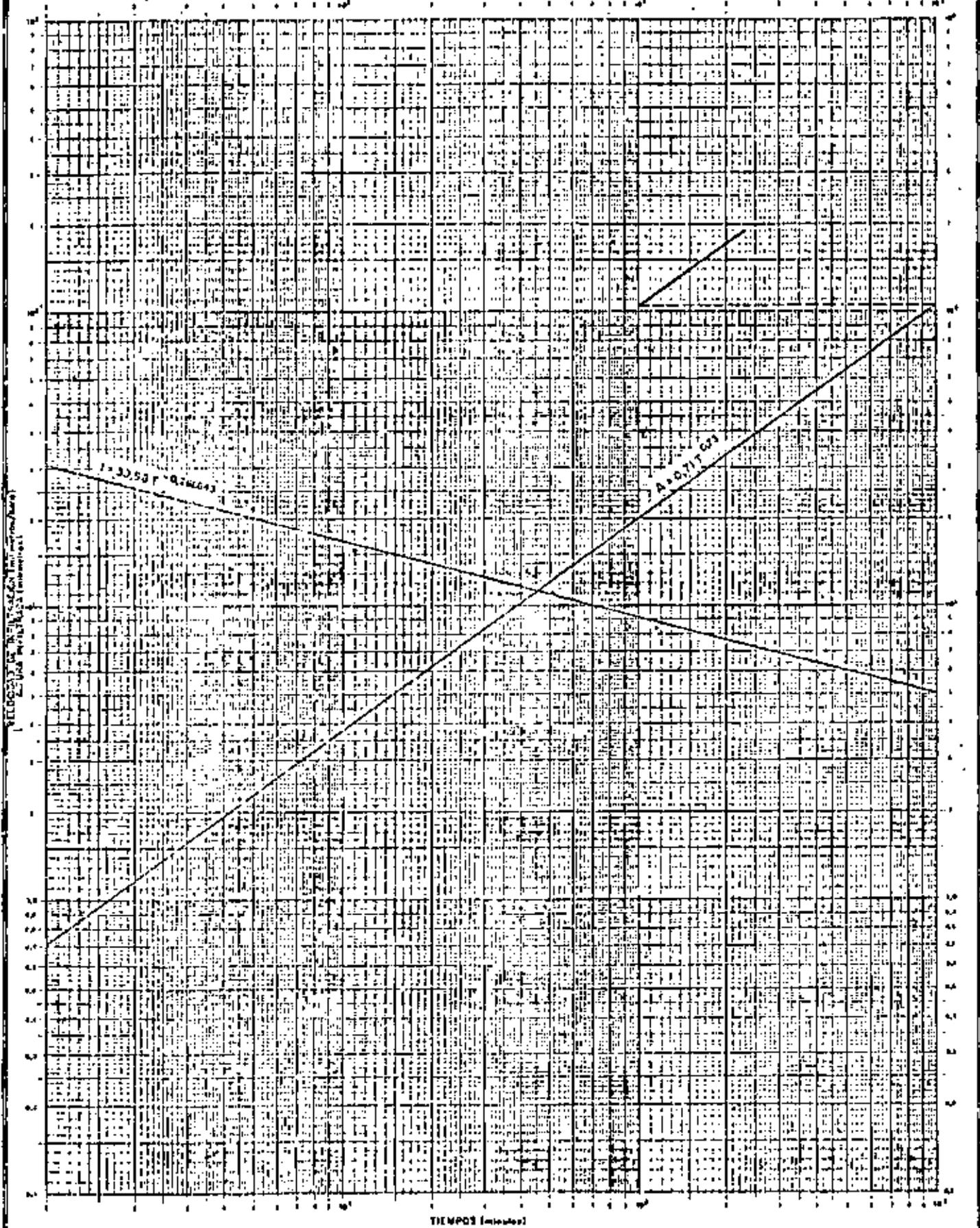


FIGURA 21

ENSAYOS DE AVANCE DEL AGUA EN LOS SURCOS

CAUDAL = 15,14 l/min

TIEMPO			Estación m
hora	dif	Acum	
8:22		0	0
	17		
:31		17	30
	26		
9:05		43	60
	34		
:39		77	90
	43		
10:22		120	120

CAUDAL = 34,82 l/min

TIEMPO			Estación m
hora	dif	Acum	
8:24		0	0
	7		
:31		7	30
	8		
:39		15	60
	11		
:50		26	90
	13		
9:03		39	120
	19		
:22		58	150
	24		
:46		82	180
	17		
10:09		99	195

CAUDAL = 66,24 l/min

TIEMPO			Estación m
hora	dif	Acum	
8:27		0	0
	5		
:32		5	30
	5		
:37		10	60
	7		
:44		17	90
	9		
:53		26	120
	10		
03		36	150
	12		
:15		48	180
	7		
:22		55	195

13.3.1.4.3.- Ensayos y curvas de avance del agua en los surcos

Los resultados de las pruebas de avance de agua en los surcos - aparecen registrados en la Figura 21. Corresponden a los tres caudales antes citados: 65,24 l/min., 34,82 l/min y 15,14 l/min.

En la figura 22 se han representado gráficamente, dichos ensayos, extrapolando las curvas a partir de los datos obtenidos en las pruebas de campo.

13.3.1.4.4.- Evaluación

A continuación se calcularán los valores de E_d (eficiencia de distribución), E_s (eficiencia de riego del sistema) y E_a (eficiencia de aplicación).

a) Eficiencia de distribución;

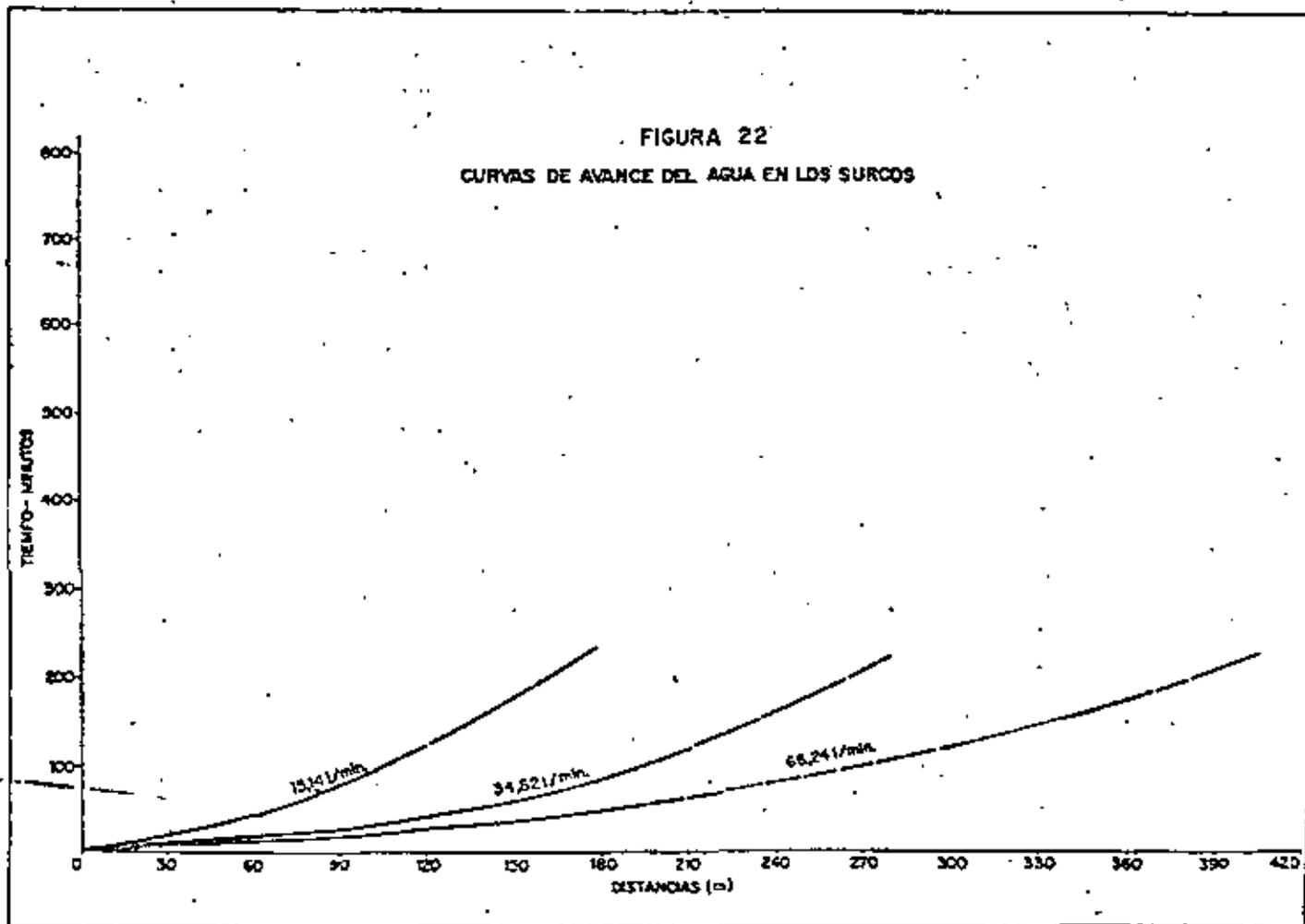
El valor de E_d , que indica la uniformidad con que el agua ha sido aplicada, se determina para el caudal de 66,24 l/min. que está utilizando el regante (podría también obtenerse para los otros casos).

La uniformidad con que el agua se ha infiltrado, sin que se analice la perfección del riego, viene expresada por la relación entre la altura de agua mínima infiltrada y la altura media infiltrada. Utilizando las Figuras 20 y 22 y teniendo en cuenta que el agua está entrando en el surco durante 10 horas (T_a), se tiene:

a) En la parte superior del surco el tiempo de oportunidad es:

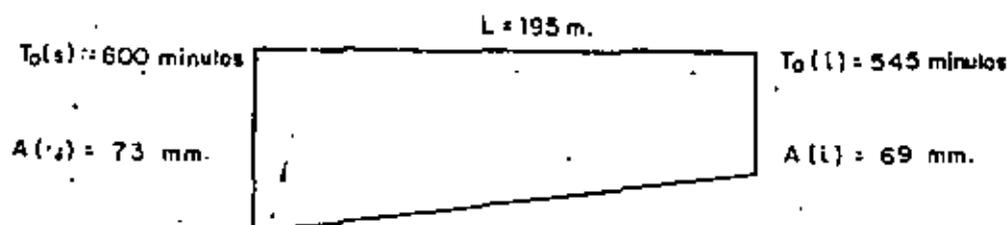
T_o (s) = T_a = 10 horas = 600 min. Por tanto la altura de agua infiltrada, en la parte superior, de acuerdo con la Figura 20 es de $A(s)$ = 73 mm.

FIGURA 22
CURVAS DE AVANCE DEL AGUA EN LOS SURCOS



b) En la parte inferior del surco el tiempo de oportunidad será $To(i)$ menos el tiempo que tarda el agua en recorrer los 195 m. que tiene el surco de longitud (Tav). Este último, según la figura 22 es de 55 min.

$To(i) = To(s) - Tav = 600 - 55 = 545$ min. Por tanto la altura de agua infiltrada en la parte inferior del surco, de acuerdo con la figura 8, es de $A(i) = 69$ mm.



Por tanto:

$$Ed = \frac{69}{\frac{73 + 69}{2}} \times 100 = \frac{69}{71} \times 100 = 97\%$$

b) Eficiencia del sistema de riego:

La determina cuando la altura mínima de agua infiltrada coincide exactamente con el descenso de humedad del suelo. Aunque el regente aplicaba 69 mm., puesto que el descenso de humedad era de 91 mm., la eficiencia ha de obtenerse para este último valor. En la figura 20 puede verse que el tiempo de riego, Ti , necesario para aplicar 91 mm. es de 800 min, es decir 13,3 horas, que será el valor de $To(i)$. En la cabecera el tiempo de oportunidad será mayor, puesto que al anterior hay que añadir el tiempo que tarda el agua en llegar a la cola de la unidad; es decir, $To(s) = 800 + 55 = 855$ min.

La altura media de agua suministrada a la superficie ocupada — por el surco, (cuya longitud es de 195 m. y cuya anchura es de 0,90 m), mediante la aplicación del caudal de 66,24 l/min durante 855 min es:

$$A = \frac{66,24 \text{ l/min} \times 605 \text{ min}}{195 \times 0,90 \text{ m}^2} = 322,7 \text{ mm.}, \text{ por tanto}$$

$$Ei = \frac{91}{322,7} \times 100 = 28\%$$

c) Eficiencia de aplicación:

Indica la relación entre la cantidad de agua que ha quedado retenida en la zona radicular, para poder ser empleada en el uso consuntivo, y la cantidad total aplicada. De la forma en que se efectuó el riego de la parcela, la máxima altura infiltrada fué de 73 mm, sin que se llegase a cubrir el deficit de humedad; por tanto, en todos los puntos de la unidad el agua fué escasa. No obstante, un volumen importante se perdió por escorrentía. La altura media de agua infiltrada (toda ella quedó retenida en el suelo) fué de 71 mm. La altura media aplicada durante las 10 horas que duró el riego fué:

$$A = \frac{66,24 \text{ l/min} \times 600 \text{ min}}{195 \times 0,90 \text{ m}^2} = 226 \text{ mm.}, \text{ por tanto}$$

$$Ea = \frac{71}{226} \times 100 = 31\%$$

13.3.1.4.5.- Conclusiones

La eficiencia, E_d , del 97% muestra que en la cabecera se ha infiltrado una altura de agua que supera muy poco a la infiltrada en la parte inferior del surco; indica, además, que se podrían conseguir buenos resultados utilizando un caudal menor, cuyo avance sería más lento. El agua llega al final del surco en 1/12 del tiempo que dura el riego, cuando, generalmente, se considera como satisfactorio que esa relación sea del orden de 1/5 a 1/4 (e incluso es aceptable hasta 1/3). El valor de E_d es, desde luego, muy elevado.

E_i y E_a son ambas muy bajas y, por tanto, dado que no existen pérdidas por percolación, la escorrentía ha tenido que ser muy importante. Tal y como se ha efectuado el riego este tipo de pérdidas suponen un 69%, y todavía habrían sido mayores si hubiera continuado el riego hasta cubrir el descanso de humedad existente en el terreno (91 mm).

Las recomendaciones que surgen de las conclusiones anteriores son evidentes; debe utilizarse un caudal menor que alcance el extremo inferior de los surcos en un tiempo aproximado de $1/4 T_i$, por ejemplo $\frac{13,3}{4} = 3,3$ horas. Interpolando en la Fig. 22 puede verse que ese caudal debería ser aproximadamente de 23 l/min; el agua debería ser aplicada durante $13,3 + 3,3 = 16,6$ horas; desde luego, se debería tomar alguna medida para reducir la escorrentía como, por ejemplo: utilizar un caudal menor, un segundo caudal, o bien, aprovechar las aguas de escorrentía. También se deduce que, si se utiliza el caudal de 66,24 l/min, la longitud del surco debería ser muy superior e incluso que, si se desea, puede utilizarse un caudal mayor (puesto que, según la expresión de Criddle, $Q(l/sq) = \frac{0,631}{0,2} = 0,3155$, es decir 190 lpm., sería aproximadamente el caudal erosivo) que permitiría un surco todavía más largo.

13.3.1.4.6. - Recomendaciones adicionales

Estudiando las curvas y los cálculos anteriores se pueden hacer algunas recomendaciones específicas en relación con el sistema de riego y su utilización. (Se supone que es utilizando un caudal de 66,24 l/min).

a) Deficit de humedad del suelo

El descanso de humedad del suelo, para el que conviene regar, debe seleccionarse cuidadosamente. Para estas condiciones de suelo, clima y cultivo (con sistema radicular en desarrollo), puede considerarse razonable un

descenso tolerable del 60%. Durante la comprobación se estimó que la zona radicular tenía una profundidad de 1,05 m; el descenso tolerable es, entonces: $105 \times \frac{45,7}{30} \times \frac{60}{100} = 96$ mm. El déficit estimado fué de 91 mm., así pues, el momento adecuado de riego era ese mismo día o el día siguiente; los riegos posteriores, cuando la zona radicular se desarrolle hasta 1,50 m., deberían ser aplicados cuando el déficit de humedad llegase a 137 mm. Para poder adaptar el sistema a estas dos condiciones (e incluso a otra aplicación, más ligera, por ejemplo de 66 mm.), se requiere flexibilidad en la frecuencia y en la duración de los riegos. Se crearán diferentes eficiencias, longitudes óptimas y tiempos de riego, pero, puesto que el sistema no puede, normalmente, trabajar con eficiencias óptimas en todas las condiciones, es inevitable adoptar una solución de compromiso.

b) Tiempo de riego (T_i)

El tiempo de riego necesario para que se infiltre una altura de agua de 96 mm. es de, aproximadamente, 860 minutos (según la fig. 20)

c) Tiempo de avance

Utilizando la relación: $\frac{T_{av}}{T_i} = \frac{1}{4}$ se obtiene $T_{av} = 215$ min.

d) Longitud del surco

Para $T_{av} = 215$ min. la longitud de surco que se obtiene en la Fig. 22 es de 402 m., que supera muy poco a la longitud total de la parcela (390 m.). Para un caudal menor, por ejemplo de 34,82 l/min., la longitud adecuada sería de, aproximadamente, 274 m y para una longitud de 195 el caudal debería ser aproximadamente de 23 l/min.

e) Tiempo de aplicación

T_a debería ser $T_i + T_{av} = 860 + 215 = 1075$ min (18 horas)

f) Eficiencia de distribución

Su valor es la relación entre la altura mínima infiltrada y la altura media infiltrada, expresada, dicha relación, en porcentaje:

$T_0(s) = 1075 \text{ min.}$, por tanto, según la Fig. 20, $A(s) = 114 \text{ mm.}$

$T_0(i) = 860 \text{ min.}$ y $A(i) = 96 \text{ mm.}$

$$E_d = \frac{96}{\frac{96+114}{2}} \times 100 = \frac{96}{105} = 92\%$$

(obsérvese que al reducir la longitud de 390 a 195 m., la eficiencia E_d , so lo se eleva del 92% al 97%).

g) Eficiencia del sistema de riego

Cuando la altura mínima infiltrada coincide con el descenso tolerable de humedad, la altura media aplicada a la superficie correspondien- al surco es de:

$$A = \frac{66,24 \text{ l/min} \times 1075 \text{ min}}{0,90 \times 390 \text{ m}^2} = 202 \text{ mm.}$$

$$E_i = \frac{96}{202} \times 100 = 48\%$$

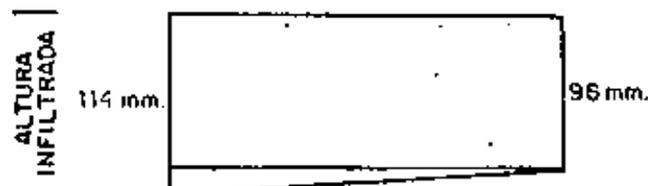
h) Eficiencia de aplicación

La altura de agua retenida en la zona radicular, en las condicio- nes ideales de trabajo será de 96 mm a lo largo de todo el surco y altura me- dia de agua aplicada será de 202 mm, por tanto $E_a = E_i = 48\%$

i) Perdidas por escorrentía

Se pueden obtener restando de la altura media aplicada la altura media que ha rebasado la zona radicular (que a su vez es la altura media in-

filtrada menos la retenida en el espesor de raíces) y menos la altura almacenada en la zona radicular.



$$\text{Escorrentía} = 202 - \left(\frac{114+96}{2} - 96 \right) - 96 = 202 - \frac{114+96}{2} = 97 \text{ mm o bien } \frac{97}{202} = 48\% \text{ de la altura aplicada.}$$

Este valor puede reducirse utilizando un segundo caudal, o bien podrían aprovecharse las escorrentías mediante un sistema de reutilización del agua... Si se hiciera esto último entonces:

$$E_1 = \frac{96}{\frac{95+114}{2}} \times 100 = 92\%, \text{ coincidiendo con } E_d$$

j) Utilización de un segundo caudal

La conveniencia de utilizar un segundo caudal o incluso, varios caudales sucesivos paulatinamente decrecientes, depende del coste de la mano de obra y del precio del agua. También deben ser tenidos en cuenta los posibles efectos secundarios de las aguas de escorrentía (daños a los cultivos, insectos, elevación del nivel freático, etc.). en el momento de decidir si conviene utilizar uno ó varios caudales, o si debe ser instalado un sistema de reutilización del agua.

El valor del segundo caudal, y el momento a partir del cual debe ser utilizado, se puede determinar aproximadamente, mediante el cálculo, según se indica a continuación. En efecto, el valor del caudal que se infiltra a todo lo largo del surco, en cada instante, se puede obtener mediante

la suma de los caudales infiltrados en cada tramo del mismo. La diferencia entre el caudal que entra por la cabecera del surco y el caudal que se infiltra proporcionará el valor de la escurrentía. La longitud de los tramos elegidos debe ser tal que el valor infiltrado en cada uno de los extremos de los distintos tramos no sea muy diferente, con el fin de que la media de los dos valores pueda ser representativa de lo infiltrado en cada uno de dichos tramos.

A continuación se determina, para el ejemplo antes expuesto, el valor de la escurrentía cuando han transcurrido cinco horas (300 minutos) de riego. Como consecuencia se obtiene el valor correcto de segundo caudal que debería utilizarse a partir de ese momento.

(1) Estación (m)	(2) Tev (min)	(3) To (min)	(4) I (mm/h)	(5) I media (mm/h)	(6) Q _{inf.} (l/min)	(7) Σ Q _{inf.} (l/min)
0	0	300	6,681	6,711	6,04	0
60	10	290	6,742	6,794	6,11	6,04
120	26	274	6,846	6,924	6,23	12,15
180	48	252	7,002	7,119	6,41	18,38
240	77	223	7,235	7,450	6,71	24,79
300	120	180	7,664	8,015	7,21	31,50
360	170	130	8,365	8,800	3,96	38,71
390	210	90	9,235			42,67

(1) Distancia en metros desde cada jalón hasta la cabecera del surco (de acuerdo con el ensayo expuesto en Fig. 21).

(2) Obtenido (Fig 22) para el caudal de 66,24 l/mio.

(3) = 300 - (2).

(4) Se obtiene, mediante el cálculo, a partir de la función $I=30,96 T^{-0,2688}$, representativa de la velocidad de infiltración, dando a T los valores

- (5) Media de cada dos valores consecutivos de I .
- (6) Caudal infiltrado en cada tramo del surco; siendo L su longitud y a su anchura:

$$Q_{inf} (l/min) = \frac{I \text{ mm/h}}{1000} \times L (m) \times a (m) \times 1000 \text{ l/m}^3 \times \frac{1}{60} \text{ h/min}$$

siendo, en el presente caso, $L = 60$ m. y $a = 0,90$ m. (excepto en el último tramo, donde $L = 30$ m)

$$Q_{inf} (l/min) = 0,90 (5)$$

- (7) Suma acumulada de los caudales infiltrados en cada tramo.

De los cálculos anteriores se obtiene que el caudal que se infiltra en el minuto 300 es de 42,67 l/min, siendo la escorrentía de 66,24 - 42,67 = 23,57 l/min.

El segundo caudal, que debería ser utilizado a partir de ese momento, es de 42,67 l/min.

Haciéndolo así, y prolongando el riego hasta 1075 minutos ($T_1 + T_{av} \approx 1075$ min), la escorrentía que tendría lugar en el momento final del riego se puede calcular, por tramos, a partir de la infiltración, como se hizo anteriormente. No obstante, como la infiltración, al cabo de un intervalo de tiempo tan largo, ha de ser ya muy similar en todos los puntos del surco, utilizaremos, para un cálculo aproximado, un valor de I media entre los correspondientes a los dos extremos del surco:

$$I = 30,96 T^{-0,268843} \quad \left\{ \begin{array}{l} T = 1075 \text{ min} \quad I = 4,741 \text{ mm/h} \\ T = 1075 - 210 = 865; \quad I = 5,026 \text{ mm/h} \end{array} \right.$$

$$I_{\text{medio}} = 4,884 \text{ mm/h}$$

El caudal que se infiltra en el surco es pues:

$$Q_{inf} (l/min) = \frac{4,884 \times 0,90 \times 390}{60} = 28,57 \text{ l/min}$$

El valor de la escorrentía es de $42,67 - 28,57 = 14,1 \text{ l/min}$

La altura media de agua aplicada durante el tiempo de riego

es:

$$A (mm) = \frac{66,24 \times 300 + 42,67 \times 775}{0,90 \times 390} = 150 \text{ mm.}, \text{ por tanto:}$$

$$E_i = \frac{96}{150} \times 100 = 64\%$$

Mediante la introducción de un tercer caudal podría alcanzarse una eficiencia del 80%, valor muy superior al obtenido con un caudal único (48%).

Las orientaciones expuestas en este apartado y en el anterior, - podrían ser ampliadas con otras varias que surgirían de establecer otras hipótesis de base más convenientes a las condiciones del sistema; no obstante la metodología a emplear sería, fundamentalmente, la misma que la utilizada en la exposición anterior.

13.4.- RIEGO POR FAJAS

Este sistema de riego consiste en introducir un cierto caudal - en un área de forma rectangular bordeada por caballones. Normalmente estas fajas son bastante estrechas con objeto de garantizar que el agua cubra totalmente su anchura. Los caballones sirven de guía a la lamina de agua, alimentada por el caudal de riego, que avanza a lo largo de la faja. El suministro de agua generalmente se corta cuando el frente de la lamina de agua ha recorrido de un 0,75 a un 0,9 de la longitud de la faja.

El riego por fajas puede ser uno de los sistemas más eficientes, sin embargo su manejo requiere una atención especial debido a que se deben coordinar simultaneamente los diversos factores implicados. Es conveniente realizar un cuidadoso estudio del sistema para conocer su manejo y satisfacer todos sus condicionamientos, tales como el hecho de que las fajas deban tener una longitud especifica para un determinado riego; que las fajas cortas suelen ser poco prácticas; que el caudal normalmente se corta antes de que el frente de la lamina de agua alcance el final de la faja; que, al contrario que ocurre en el riego por surcos, en el sistema de fajas la cabecera de la faja puede recibir menos agua que su parte central o su cola.

En la Figura 23 se muestran una serie de curvas de avance y retirada y combinaciones de ambas que pueden ser útiles para interpretar los resultados de los ensayos de campo.

13.4.1.- Técnica de la evaluación

Para efectuar la evaluación de este sistema de riego se escoge una parcela característica de la zona a estudiar, y, en el momento en que debe regarse, se introducen en tres fajas sendos caudales, uno de estos será el usual de riego, otro mayor y el tercero menor. Los datos a obtener son los siguientes:

- 1) tiempo de aplicación y valor de los cuadales introducidos en las fajas.
- 2) Curva de avance de la lámina de agua
- 3) Curva de retirada de la lámina de agua
- 4) Relación entre altura de agua infiltrada y tiempo
- 5) Anchura mojada de las fajas
- 6) Descenso de humedad existente en el suelo en el momento del riego
- 7) Contenido de agua existente en el suelo una o dos días después del riego
- 8) Pendiente longitudinal y transversal de las fajas
- 9) Textura y perfil del suelo
- 10) Caudal y duración de la escorrentía en la cola de la faja
- 11) Estado de desarrollo del cultivo y su efecto "retardador" — del avance de la lámina de agua.

Con los datos anteriores se efectuará un estudio de los siguientes factores:

- a) Eficiencia de distribución
- b) Eficiencia de riego potencial del sistema
- c) Eficiencia de aplicación

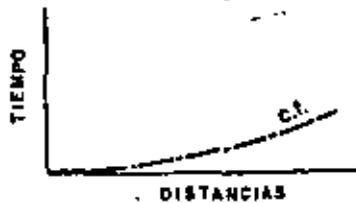
El estudio detenido de toda la información recogida puede aconsejar la introducción de algunas variaciones en la realización del riego, — como por ejemplo:

FIGURA 23-1

CURVAS DE AVANCE Y RETIRADA EN FAJAS

CURVAS DE AVANCE

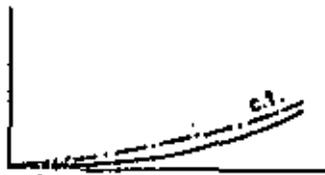
Curva típica



Curva gradualmente ascendente.



Infiltración más rápida en la cabecera de la faja.



Infiltración más lenta en la cabecera de la faja.



Corte prematuro del caudal.

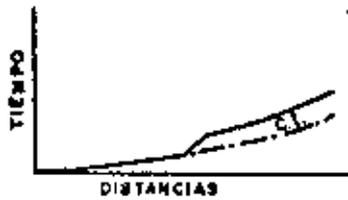


Pendiente más suave en la cabecera de la faja.



Pendiente más acusada en la cabecera de la faja.

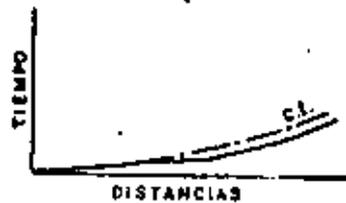
FIGURA 23-2



Depresión en la parte central de la faja.



Infiltración más rápida o pendiente más suave en la parte central de la faja.

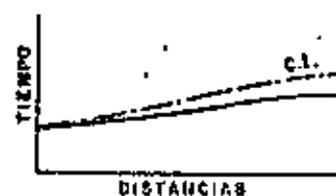


Infiltración más lenta o pendiente más acusada en la parte central de la faja.

FIGURA 23-3

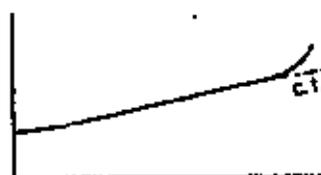
CURVAS DE RETIRADA

Curva típica



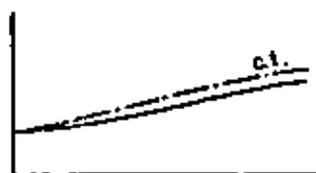
Curva con ligera forma de S.

Infiltración más rápida en la cabecera de la faja.



Infiltración más lenta en la cabecera de la faja.

Caballón, en la cola de la faja, que retiene el agua.



Pendiente más acusada en la cabecera de la faja.



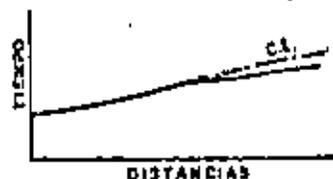
Pendiente más suave en la cabecera de la faja.

FIGURA 23-4

CURVAS DE RETIRADA



Depresión en la parte central de la faja.



Infiltración más rápida o pendiente más acusada en la parte central de la faja.

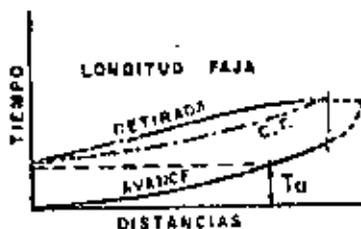


Infiltración más lenta o pendiente más suave en la parte central de la faja.

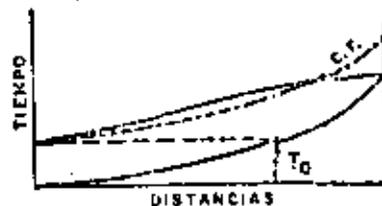
FIGURA 23-5

CURVAS COMBINADAS DE AVANCE Y RETIRADA

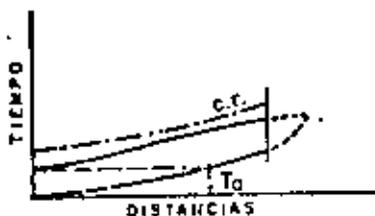
Curvas típicas



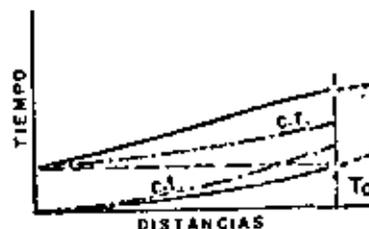
Las curvas de avance y retirada son casi paralelas. La curva de riego es siempre paralela a la de avance. En la cabecera de la unidad el tiempo de aplicación es igual al tiempo de oportunidad menos el tiempo de retardo. El momento del corte del caudal es cuando la lámina de agua ha alcanzado alrededor de los $3/4$ de la longitud de la faja, de forma que el final de ésta quede adecuadamente regada y la escorrentía sea escasa.



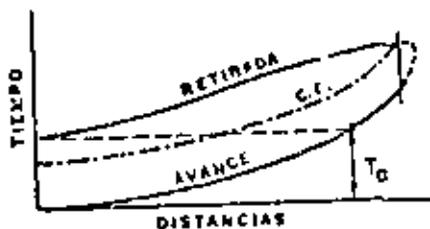
Faja demasiado larga, falta de riego en la cola de la faja, no hay pérdidas por escorrentía.



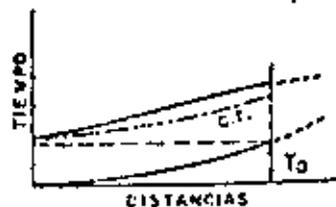
Faja demasiado corta, falta de riego en toda la faja.



Caudal demasiado grande, exceso de riego en la cola de la faja.



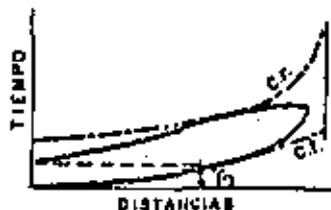
Faja demasiado larga, exceso de riego en toda la faja.



Faja demasiado corta, grandes pérdidas por escorrentía, exceso de riego en la cola de la faja.

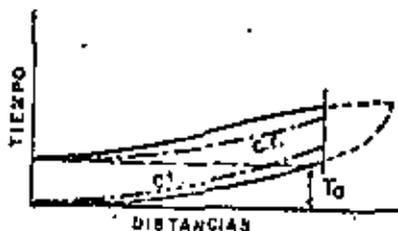
FIGURA 23-6

CURVAS COMBINADAS DE AVANCE Y RETIRADA



Caudal demasiado pequeño, exceso de riego en la cabecera de la faja.

Corte prematuro del caudal, falta de riego en toda la faja.



Caudal demasiado grande, falta de riego en la cabecera y cola de la faja.

Pendiente más acusada en cabecera de la faja; riego adecuado; escorrentía excesiva.



Infiltración más lenta en cabecera de la faja; riego adecuado; escorrentía excesiva.

- a) utilizar un caudal diferente del empleado
- b) variar la longitud de las fajas
- c) cambiar el descenso tolerable de humedad con el que debe comenzar el riego
- d) construir un depósito para regular el suministro de agua
- e) modificar el tiempo de aplicación

13.4.1.1.- Material necesario

- 1º) Cinta métrica
- 2º) Jalones o estacas para situarlas a lo largo de la faja
- 3º) Cronómetro
- 4º) Aforadores
- 5º) Sondas para tomar muestras de suelo
- 6º) Cilindros infiltrómetros (normalmente 5) con su equipo complementario
- 7º) Accesorios de trabajo en campo (pala, martillo etc...)
- 8º) Impresos para anotar los datos registrados (Figuras 24 y 25)
- 9º) Útiles topográficos para determinar la pendiente de las fajas
- 10º) Útiles para determinar la humedad del terreno.

13.4.1.2.- Procedimiento a emplear en el trabajo de campo

- 1º) Se eligen tres fajas de la parcela que sean representativas de las características de ésta (las condiciones edafológicas deberían ser -

homogéneas), el suministro de agua debe ser tal que permita introducir caudales constantes en las fajas. Éstas pueden estar alternadas para evitar andar sobre suelo mojado.

2º) Colocar un mínimo de seis jalones a lo largo del borde de la faja; normalmente se colocan a intervalos de 30 metros. Cada uno de estos jalones corresponde a una estación. Se mide el ancho mojado de cada faja y la distancia entre los caballos.

3º) Se instala un aforador en cabecera de cada faja. Puede también ser conveniente el instalar otro aforador en cola de faja si se prevé que puede haber bastante escurrentía.

4º) Se determina el déficit de humedad en el suelo y se compara con el descenso tolerable de humedad. Si la diferencia es apreciable, la evaluación se verá considerablemente afectada ya que las velocidades de infiltración y avance de la lámina de agua dependen del contenido de agua del suelo.

5º) Se colocan al menos cuatro cilindros infiltrómetros en un lugar característico y se realiza la prueba de infiltración anotando los datos obtenidos en el impreso correspondiente.

6º) Se introducen tres caudales (si es posible constantes), uno el usual, otro mayor y el tercero menor, en las fajas seleccionadas. Se anotan los caudales y se comprueban durante la evaluación. Se anota también la hora en que el caudal se introduce en la faja, la hora en que se corta y cualquier posible variación que tenga lugar. Estos datos se registran en el impreso correspondiente.

El corte de la entrada del caudal se efectúa cuando el frente de la lámina de agua está alrededor de 0,7 a 0,9 de la longitud de la faja, (para suelos de textura fina y textura gruesa respectivamente).

7º) Se anota la hora en que el frente de la lámina de agua alcanza cada estación (Figura 25). Si el frente de la lámina de agua no está bien definido, se toma un frente medio.

8º) Se mide la escurrentía, si se ha instalado un aforador en cola de faja, o se observa y se describe en diferentes momentos si no existe este aforador. Los datos de avance y retirada de la lámina de agua muestran automáticamente el comienzo y el final de la escurrentía.

9º) Se anota la hora en que el agua desaparece de cada estación (Figura 25). La determinación del momento de desaparición del agua puede presentar dificultades debido a la formación de charcos. Como el objetivo de esta determinación es definir el momento en que el agua deja de tener la oportunidad de infiltrarse en cada estación, es importante adoptar los mismos criterios para todas las estaciones. La curva de retirada que se obtiene con estos datos es una pieza clave para la evaluación.

En la estación 0, de cabecera de la faja, habrá una diferencia apreciable de tiempo desde que se corta el caudal hasta que la lámina de agua se retira de esta estación; esto debe ser registrado como se indica en la nota existente al pie de la Figura 25.

10º) Se determina el contenido de agua en el suelo uno o dos días después del riego, para comprobar si éste ha sido adecuado.

11º) Se determinan las cotas de las estaciones para obtener la pendiente longitudinal de la faja (Figura 25).

12º) Se determina la pendiente transversal de la faja.

13.4.1.3.- Utilización de los datos obtenidos

Para facilitar el estudio e interpretación de los datos obtenidos en el campo, éstos deben representarse gráficamente.

1º) Curva de altura de agua infiltrada

A partir de los datos recogidos en la Figura 24, se representa, en papel logarítmico, para cada cilindro, la curva de altura de agua infiltrada en función del tiempo (Figura 26). Normalmente son líneas rectas aunque pueden curvarse ligeramente, o "doblarse" en determinadas condiciones, algunas de las cuales se describen a continuación: a) frecuentemente en suelos arenosos, pasados unos minutos, la curva se hace más pendiente debido a que entonces se libera el aire retenido por el agua que cubre el suelo, por lo que puede penetrar más rápidamente; b) cuando los cilindros infiltrómetros no están suficientemente introducidos en el suelo se obtienen curvas de mayor pendiente; c) cuando existen grietas en el terreno, por las que el agua se infiltra rápidamente, la curva durante algunos minutos tiene mucha pendiente, decreciendo ésta a continuación; d) en suelos con "suela de arcilla" la curva sufre el mismo fenómeno anterior, pero retardado.

La razón por la cual se representa una curva de altura de agua infiltrada para cada cilindro, es que si se hubiera obtenido una media de las lecturas de los distintos cilindros y luego se hubiera representado esta curva, su pendiente habría enmascarado las diferentes condiciones del suelo.

Una vez representadas las curvas de altura de agua infiltrada, para cada cilindro, se traza una curva "típica" de altura de agua infiltrada que posteriormente se utilizará en la evaluación. Su posición se comprueba más adelante y, si es necesario, se ajusta para que represente lo que realmente sucede en el riego.

2º) Curvas de avance y retirada

A partir de los datos recogidos en la Figura 25 se representan, en unos ejes coordenados, las curvas de avance y retirada para cada faja (Figura 27). En abscisas se sitúan las distancias de las diversas estaciones

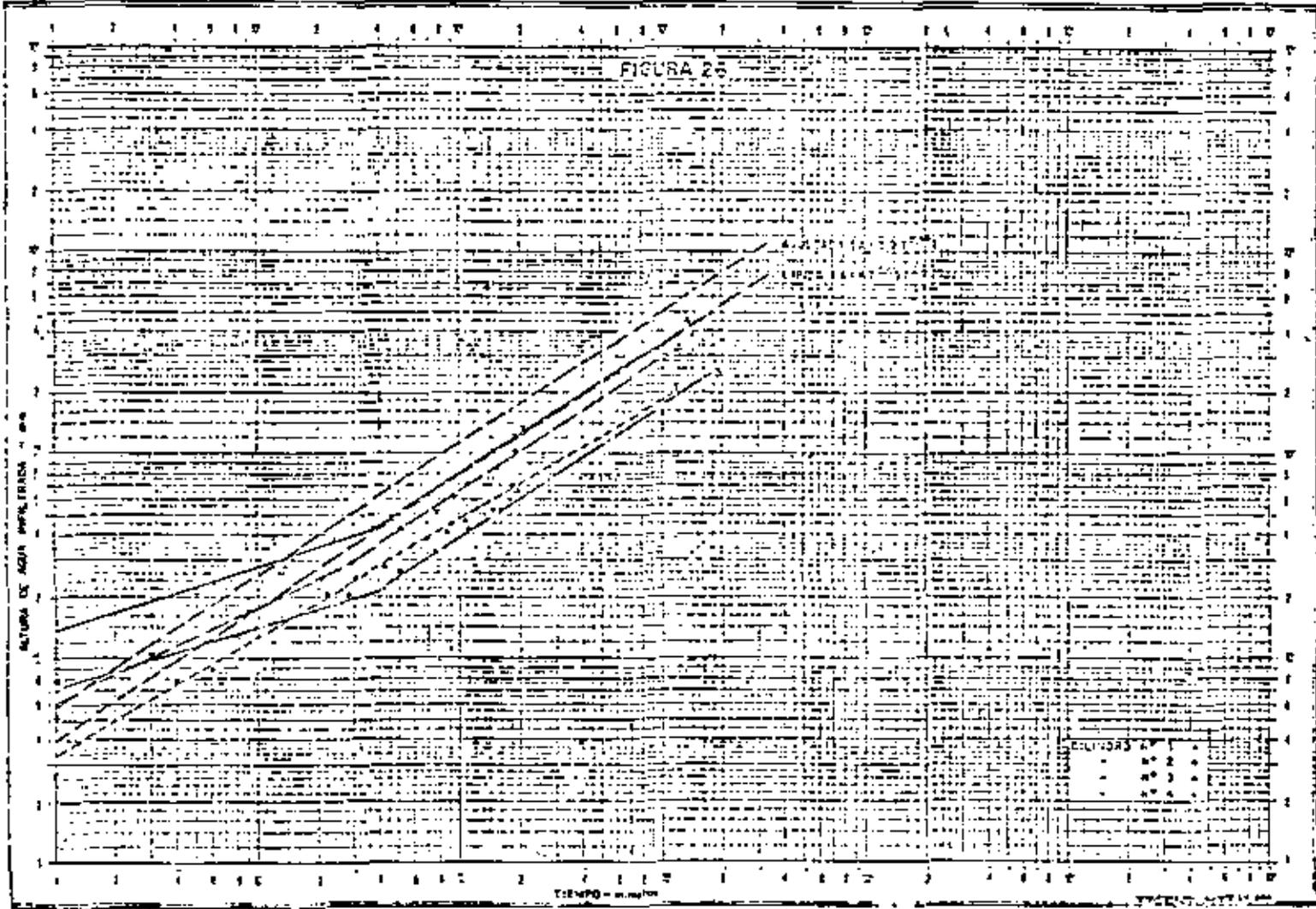
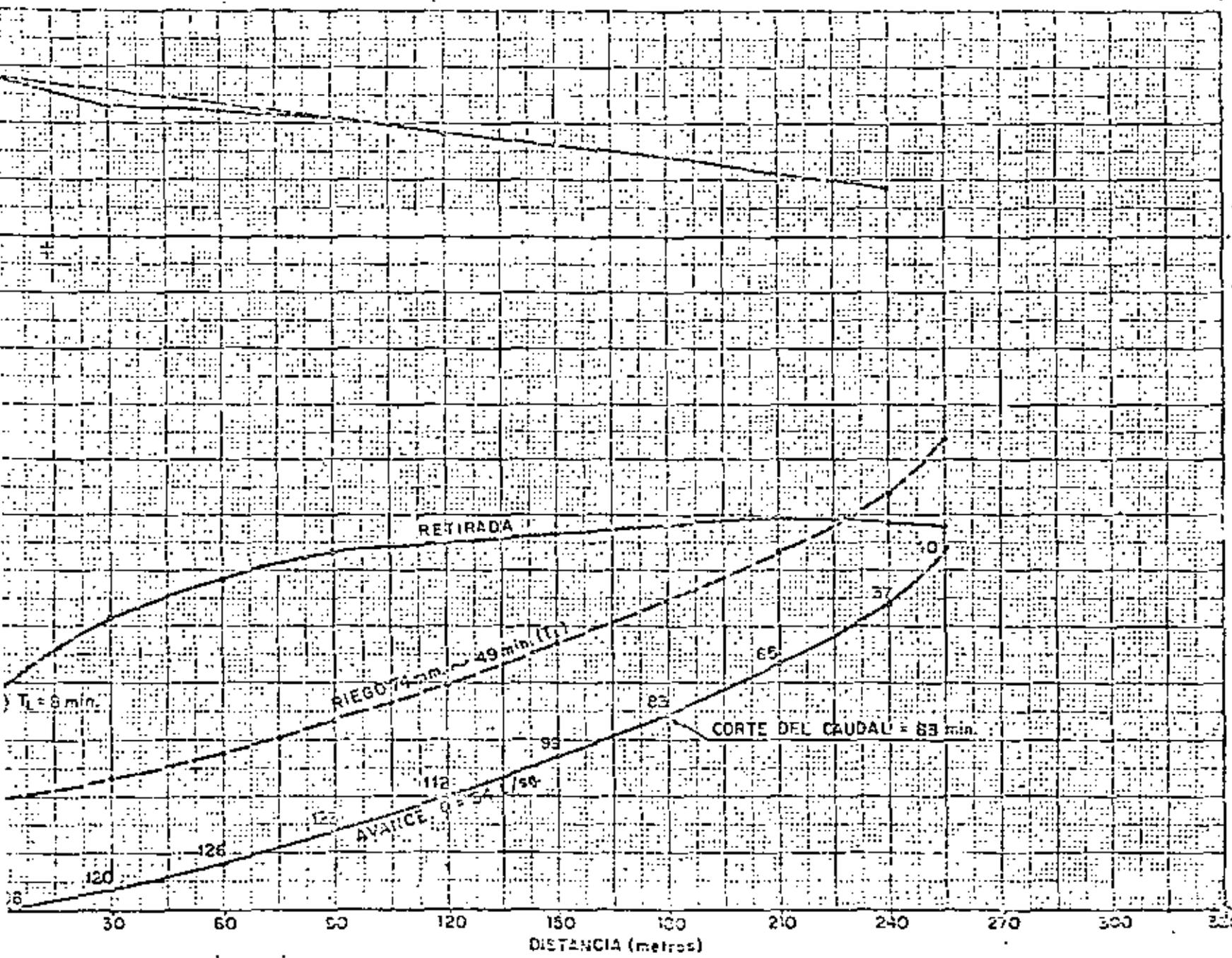


FIGURA 27

Cultivo Anchura fojo 6,40 m Longitud fojo 210 m Textura suelo Déficit humedad 74 mm en 160
 Caudal introducido 34 l/seg. Tiempo de aplicación 83 minutos Profundidad de agua aplicada $\frac{0,034 \times 60 \times 60}{6,40 \times 255} \times 10^3 = 1$



PERFIL LONGITUDINAL DE LA FAJA.

CURVAS DE AVANCE, RETIRADA Y RIEGO

a la cabecera de la faja y en ordenadas los tiempos. La curva de avance se dibuja haciendo corresponder la distancia de cada estación con la hora de llegada a ésta de la lámina de agua. La curva de retirada se dibuja haciendo corresponder la distancia de cada estación con la hora en que el agua desaparece de la misma.

13.4.1.4.- Caso práctico

En este caso práctico la evaluación se realiza, solo, para una faja. La longitud de ésta es de 210 metros y está situada en la parte superior de una parcela de 420 m. de longitud. Por esta razón se toman estaciones más allá de los 210 metros. Los datos obtenidos para las estaciones situadas más allá de los 210 metros representan la escurrentía. (En los casos en que el final de la faja coincide con el final de la parcela, la escurrentía puede representarse gráficamente extrapolando las curvas de avance y retirada hasta su intersección).

El ancho de la faja es de 6,40 metros, y el caudal introducido 34 l/seg durante 88 minutos.

13.4.1.4.1.- Determinación del descenso de humedad

Para conocer el descenso de agua en el suelo en el momento del riego se toman muestras del mismo cada 30 centímetros hasta una profundidad de 150 cm (que es la profundidad radicular en este caso). Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Profundidad de suelo (cm)	Descenso (mm)
0 - 30	25,4
30 - 60	20,4
60 - 90	15,3
90 - 120	10,3
120 - 150	2,6

El descenso total en los 150 cm. del perfil de suelo es pues -
de 74 mm.

13.4.1.4.2.- Altura de agua infiltrada "típica"

Se dibujan las curvas de altura de agua infiltrada (Figura 26) a partir de los datos obtenidos en los cuatro cilindros infiltrómetros (Figura 24).

Una de ellas es una línea recta, otras dos se "doblan" aprecia-
blemente, y la otra ligeramente.

Observando el efecto de la rapidez de la infiltración inicial, pero teniendo en cuenta que la pendiente de la parte posterior de las líneas es sensiblemente coincidente, se dibuja una línea recta que denominaremos "típica" y cuya ecuación es $A = 4 T^{0,65}$ (A es la altura de agua infiltrada en mm; T es el tiempo en minutos)

13.4.1.4.3.- Altura de agua infiltrada "ajustada"

Esta curva es la que se utiliza en el proceso de evaluación ya que, como se verá a continuación, es la más representativa de lo que ocurre en la faja.

La elaboración de esta curva se realiza a partir de los datos que aparecen en la Figura 28, donde: T_0 es el tiempo que el agua está sobre el terreno en cada estación (Tiempo de oportunidad); se obtiene por diferencia de tiempos en cada estación entre las curvas de avance y retirada (Figura 27); A es la altura de agua infiltrada "típica" en cada estación; se obtiene entrando con los tiempos T_0 en la curva de altura de agua infiltrada "típica" (Figura 26); $\bar{A}/30$ es la profundidad infiltrada media para cada intervalo de 30 m. (la $\bar{A}/30$ correspondiente a la parte final se pondera por su longitud correspondiente, al ser la distancia entre estaciones menor de 30 metros).

FIGURA 28

ALTURA INFILTRADA SEGUN CURVA "TIPICA"

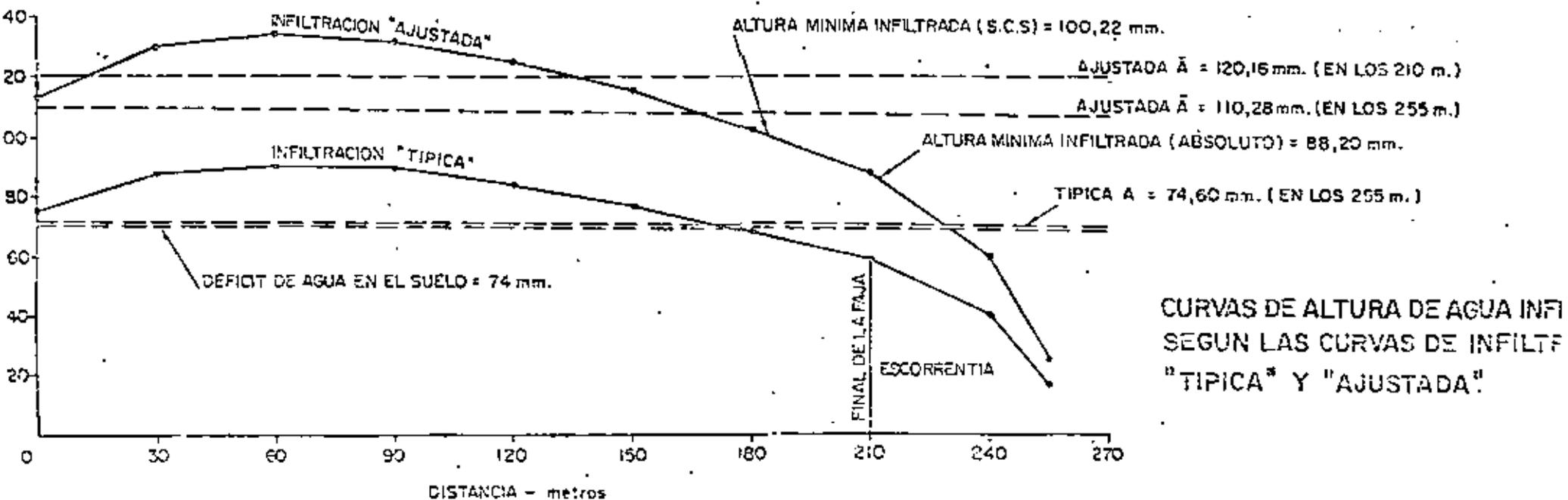
ESTACION	0	30	60	90	120	150	180	210	240	
T_0	96	120	126	123	112	99	83	65	37	10
A	76,7	88,2	90,9	90,0	84,7	78,2	69,4	59,7	41,2	17,6
$\bar{A}/30$		82,4	89,5	90,4	87,3	81,4	73,8	64,5	50,4	29,4 ^{1/2}

Altura media A en 255 metros = $634,4 \text{ mm} / 8,5 \text{ intervalos} = 74,6 \text{ mm}$

ALTURA INFILTRADA SEGUN CURVA "AJUSTADA"

A	113,2	130,3	134,2	132,9	125,2	115,5	102,5	88,2	60,9	26,0
$\bar{A}/30$		121,7	132,2	133,5	129,05	120,35	109	95,35	74,55	43,4 ^{5/2}

Altura media real infiltrada en 255 metros = $937,4 \text{ mm} / 8,5 \text{ intervalos} = 110,28 \text{ mm}$



La altura media (A) infiltrada, según la curva "típica", para la longitud total de la faja (incluida la parte extrapolada) es:

$$a = \frac{634,4 \text{ mm}}{8,5 \text{ intervalos}} = 74,6 \text{ mm}$$

Como comprobación de la posición que ocupa la curva de altura de agua infiltrada "típica" en la Figura 26 se calcula la profundidad media real de agua aplicada:

$$a_1 = \frac{0,034 \text{ m}^3/\text{seg.} \times 88 \text{ min} \times 60 \text{ seg/min}}{6,40 \text{ m} \times 265 \text{ m}} \times 10^3 = 110 \text{ mm.}$$

(caudal introducido: 34 l/seg; tiempo de aplicación: 88 minutos; anchura de la faja: 6,40 m)

La línea de altura de agua infiltrada "ajustada" es una paralela a la "típica", que pasa por el punto de coordenadas (T = 90 minutos — A = 110 mm); puesto que T = 90 minutos es el tiempo necesario para que se infiltran 74,6 mm según la curva típica, (este tiempo puede obtenerse gráfica o analíticamente a partir de la función $A = 4 T^{0,65}$).

La línea de altura de infiltración "ajustada" tiene por ecuación $A = 5,9 T^{0,65}$. Con esta línea, y de la misma forma que dijimos para la altura infiltrada "típica", obtenemos los valores A y $\sqrt[3]{30}$ para cada estación (Figura 28). Como comprobación obtenemos la altura media "real" infiltrada, según la curva "ajustada", para la longitud total de la faja (incluida la parte extrapolada):

$$a_2 = \frac{937,4 \text{ mm}}{8,5 \text{ intervalos}} = 110,28 \text{ mm}$$

Comparando este valor con el de la profundidad media real calculada (a_1) muestra que la línea ajustada es razonablemente correcta.

13.4.1.4.4.- Evalución

a) Eficiencia de distribución (E_d)

Es la relación en porcentaje entre la altura mínima infiltrada y la altura media infiltrada. Esta eficiencia describe la uniformidad de distribución del agua a lo largo de la faja.

Para el cálculo de esta eficiencia se usa la longitud real de la faja (sin la parte extrapolada) ya que no se tiene en cuenta la escorrentía.

La altura media infiltrada para los 210 metros se obtiene del valor $\bar{A}/30$ en la curva "ajustada" (Figura 28).

$$a_3 = \frac{841,15 \text{ mm.}}{7 \text{ intervalos}} = 120,16 \text{ mm.}$$

La altura mínima infiltrada corresponde a la estación 210 m. y es 88,2 mm. (Figura 28).

$$E_d \text{ (absoluto)} = \frac{88,2}{120,16} \times 100 = 73,4\%$$

Según el criterio del S.C.S. la altura mínima infiltrada corresponde a la media de la cuarta parte de la faja con menor altura infiltrada (aproximadamente los últimos 52,5 metros en este caso):

$$\frac{\bar{A}}{52,5} = \frac{88,2 \text{ mm.} + 112,25 \text{ mm.}}{2} = 100,22 \text{ mm. (Figura 28)}$$

$$E_d \text{ (S.C.S.)} = \frac{100,22}{120,16} \times 100 = 83,4\%$$

b) Eficiencia de riego potencial del sistema (E_1)

Es la relación, en porcentaje, entre la altura mínima infiltrada (suponiendo que correspondiera al descenso de humedad del suelo) y la altura media aplicada. Esta relación describe la eficacia máxima con que puede operarse el sistema en las condiciones de la prueba (no variando ningún parámetro, excepto el momento de riego).

La altura mínima infiltrada (absoluta) es 38,2 mm

La altura mínima infiltrada (según S.C.S.) es 100,22 mm.

La altura media de agua total aplicada a los 210 metros de longitud de la faja, incluyendo el agua perdida por escorrentía al final de la misma, es (Figura 28)

$$a_4 = \frac{937,4 \text{ mm}}{7 \text{ intervalos}} = 133,9 \text{ mm.}$$

$$E_1(\text{absoluto}) = \frac{38,2}{133,9} \times 100 = 28,5\%$$

$$E_1(\text{S.C.S.}) = \frac{100,22}{133,9} \times 100 = 74,8\%$$

c) Eficiencia de aplicación (E_a)

Es la relación, en porcentaje, entre el agua retenida en la zona radicular y la altura media aplicada. Esta relación describe la eficacia con que se está utilizando el sistema. Para facilitar la visión de lo anterior se traza en los ejes coordenados de las curvas de avance y retirada (Figura 27) la curva de riego. Esta curva se dibuja trasladando, en vertical, la curva de avance una distancia igual al tiempo de riego (T_1), que es el necesario para que se infiltre en el terreno la altura de agua que corresponde al descenso de humedad existente en el suelo, cuyo valor determinado ante

riormente es de 74 mm. Si la curva de riego está situada por debajo de la curva de retirada, indica que el agua ha estado demasiado tiempo sobre el suelo, es decir que ha habido un exceso de riego, y si está por debajo que la faja no ha recibido suficiente agua.

La curva de riego también puede representarse en los ejes coordenados de la Figura 20; en este caso lo que se representa es la altura de agua que es necesario aplicar al terreno para reemplazar el déficit de agua existente en el suelo en el momento del riego; el exceso o defecto de riego viene representado en alturas en vez de venir en tiempos.

A partir de la línea de infiltración "ajustada" se obtiene el tiempo necesario para que se infiltren los 74 mm, que es 49 minutos (este tiempo puede obtenerse gráficamente de la Figura 26 o analíticamente de la ecuación $A = 5,9 T^{0,65}$). Con este tiempo se dibuja la curva de riego en la Figura 27.

$$E_a = \frac{74}{133,9} \times 100 = 55,3\%$$

Este valor es alrededor de un 10% menor que el que se hubiera obtenido si se hubiera esperado para regar a que el descenso de humedad en el suelo alcanzara 88,2 mm. Entonces el valor de E_a hubiera igualado al de E_i (absoluto) que es 65,8%. Esto es un ejemplo de como el momento de riego puede influir en la eficiencia del uso del agua.

La duración correcta del riego (T_i) para aplicar 74 mm de profundidad de agua es, como hemos visto anteriormente, de 49 minutos. Este tiempo debe considerarse únicamente como una aproximación debido a las muchas variables implicadas en su determinación.

El caudal idóneo no ha podido calcularse ya que en este caso se ha utilizado un solo caudal. Es evidente que un caudal mayor que el empleado hubiera avanzado más rápidamente, con lo que se conseguiría aproximar y

hacer más paralelas las curvas de avance y retirada, y el riego sería más uniforme. Convendría pues cortar la entrada del caudal antes (y se reduciría el exceso de agua en la mitad superior de la faja) en ese caso.

Al final de las pruebas se tomaron muestras de suelo para determinar su contenido de agua. Las muestras tomadas estaban a capacidad de campo o por encima de este punto. Este hecho confirma el exceso de riego indicado por la evaluación.

13.4.1.4.5.- Conclusiones

Retrasando el momento de riego dos o tres días se hubiera podido incrementar la eficiencia de aplicación ($E_a = 55,3\%$) en un 10%. Utilizando un caudal mayor se hubieran mejorado todas las eficiencias.

Se debe tener en cuenta que ninguno de los valores obtenidos puede considerarse como exacto, pero que son suficientemente significativos para indicar lo que debiera hacerse para mejorar la eficacia del sistema.

13.5.- RIEGO POR INUNDACION

La tabla, o era, es un área a nivel de cualquier forma o tamaño, bordeada por caballones que retienen el agua aplicada por el riego hasta que se infiltre. Las pérdidas que puedan existir habrán de ser por percolación.

La evaluación de un riego por inundación se realiza, principalmente, por observación, ya que resulta muy difícil la determinación de los valores exactos de las eficiencias, debido a las diferencias apreciables en la altura de agua infiltrada producidas por pequeñas variaciones en la velocidad de infiltración dentro de la tabla, o por la existencia de depresiones donde se acumula el agua.

13.5.1.- Técnica de la evaluación

Mediante la técnica de evaluación se determina en el campo:

- 1) Descenso de humedad existente en el suelo y descenso tolerable.
- 2) Valor del caudal que se introduce en la tabla y su tiempo de aplicación.
- 3) Velocidad de avance de la lámina de agua y observaciones al respecto.
- 4) Velocidad de infiltración.
- 5) Observaciones sobre cualquier variación en la velocidad de infiltración.
- 6) Altura de agua infiltrada total.
- 7) Es necesario elaborar un plano de la tabla.

13.5.1.1.- Equipo necesario

- 1) Sondas para tomar muestras de suelo.
- 2) Cronómetro.
- 3) Aforadores.
- 4) Útiles topográficos para medir el área y la pendiente de la tabla.
- 5) Varillas graduadas para medir alturas de la lámina de agua.
- 6) Impresos para anotar los datos obtenidos

13.5.1.2.- Procedimiento a seguir en los ensayos de campo

- 1) Se realiza un plano de la tabla.
- 2) Se determina el descenso de humedad existente en el suelo - en varios lugares de la tabla, y se compara con el descenso tolerable para conocer si es el momento adecuado de riego. Se observa y anota cualquier diferencia en el desarrollo - del cultivo, en la textura, en el perfil del suelo y en el descenso de humedad.
- 3) Se determina el valor del caudal introducido. La hora de in troducción y la hora de corte.
- 4) Se observa y anota, en el plano de la tabla, la posición - del frente de avance de la lámina de agua en varios momen- tos. (La determinación de esta posición puede facilitarse - disponiendo en la tabla una "cuadrícula" con jalones). La - posición del frente de la lámina de agua nos indica las de- presiones y elevaciones existentes en el terreno.

Se observa y anota la posición del frente de retirada de la lámina de agua en varios momentos, señalando las principa-

les depresiones y elevaciones observadas. La diferencia entre el tiempo de llegada y el tiempo de retirada de la lámina es el tiempo de que dispone el agua para infiltrarse, es decir, el tiempo de oportunidad (T_0).

- 5) La determinación de la velocidad de infiltración para la tabla no es fácil de realizar (para un estudio más detallado pueden usarse cilindros infiltrómetros). Sin embargo, puede obtenerse un valor aproximado de su magnitud colocando un jalón de referencia o una varilla graduada en un punto de la tabla cercano al de entrada del caudal y que pueda leerse fácilmente. Se debe anotar la hora de introducción del caudal, la hora en que el agua cubre el estanque y la hora de corte del caudal. Después de que la tabla esté cubierta por la lámina de agua se lee y anota su altura en diferentes momentos; los datos así obtenidos se representan gráficamente mediante la curva de altura de agua infiltrada en función del tiempo. Esta curva se ajusta, siguiendo un proceso similar al utilizado en riego por fajas, para que pase por el punto de coordenadas correspondientes: tiempo en que el agua desaparece de la superficie del terreno en la mayor parte de la tabla - altura de agua aplicada (calculada por el mismo procedimiento que en riego por fajas).

El método anterior no proporciona la curva exacta de altura de agua infiltrada, a causa del tiempo de llenado del estanque, el efecto del viento que hace que el agua se acumule en el borde opuesto a la dirección del mismo, el flujo lateral de agua desde las zonas con baja infiltración a aque--

llas de infiltración más alta, etc. En la mayoría de los casos, es suficiente una aproximación del tiempo que necesita el agua para desaparecer de la superficie de la tabla, ya — que este dato no se utiliza en el cálculo de las eficien—
cias.

6) Las variaciones de la velocidad de infiltración en diferentes zonas de la tabla pueden observarse por alguno de los procedimientos que se describen a continuación. Todos estos procedimientos no son nada más que indicadores del problema, pero es importante conocer las posibles variaciones de la infiltración para estimar su uniformidad.

a) Cuando la tabla esté llena, se la divide por medio de caballones, de modo que estos no lleguen a sobresalir de la superficie del agua, en varias sub-tablas. Se observa y mide el descenso del agua en cada una de ellas. Estos datos nos indican las diferencias relativas en la velocidad de infiltración de las sub-tablas adyacentes (debe considerarse las probables diferencias entre las velocidades de infiltración relativas debidas a que el agua no llega a cada sub-tabla al mismo tiempo).

b) Se construyen unas sub-tablas, como se ha indicado en el apartado anterior pero dejando comunicación entre ellas. El agua fluirá, a través de las aberturas, desde las sub-tablas con baja velocidad de infiltración a aquellas cuya velocidad de infiltración sea más alta (como en el apartado anterior, se debe considerar que el agua no llega a cada sub-tabla al mismo tiempo).

Con este método es con el que mejor se aprecian las variaciones en la velocidad de infiltración.

- c) Se construyen, antes del comienzo de la prueba, varios sub-tablas. Se introduce rápidamente, dentro de cada una de ellas, una cierta altura de agua (altura que se calcula midiendo el caudal introducido, tiempo de aplicación de este caudal y área cubierta por el agua). Luego se mide la velocidad del descenso del nivel del agua. Suponiendo que el agua aplicada desaparece de toda la superficie de la sub-tabla al mismo tiempo (terreno a nivel e infiltración uniforme), se puede dibujar la curva ajustada de la altura de agua infiltrada, comenzando por el punto de coordenadas correspondientes a: un tiempo que es la diferencia entre el momento en que desaparece el agua aplicada y el momento en que el agua al introducirse cubre de 0,5 a 0,6 del área de la sub-tabla; y una altura de agua que es la total infiltrada. El resto de los puntos de esta curva se obtienen a partir de las medidas de la velocidad de descenso del nivel del agua después de que las sub-tablas están llenas.

- d) Se pueden utilizar los cilindros infiltrómetros para estimar las características de infiltración del estancue. En este caso para tener un grado de exactitud razonable se deben realizar numerosas pruebas, que requieren bastante tiempo y trabajo. Pero es el único método cuyos valores pueden usarse para predecir.

7º) Se determina el contenido de humedad del suelo tomando -
muestras del mismo unos días después del riego.

13.5.1.3.- Utilización de los datos obtenidos

El objetivo de la evaluación es conocer la eficacia de las -
prácticas actuales de riego y determinar la forma en que podrían mejorar-
se.

El descenso de humedad en el suelo corresponde a la máxima al
tura de agua que se puede almacenar en la zona radicular, y es la que se
debe aplicar en el riego. La comparación entre el descenso de humedad del
suelo y el descenso tolerable indica si el momento del riego ha sido el -
adecuado.

La altura de agua aplicada se calcula multiplicando el caudal
introducido por el tiempo de aplicación y dividiendo por el área de la ta
bla.

$$\text{Altura de agua aplicada (mm.)} = \frac{\text{Caudal (l/sq.)} \times \text{tiempo de aplicación (sq.)}}{\text{Área (m}^2\text{)}}$$

a) Eficiencia de Distribución (E_d)

La Eficiencia de distribución indica la uniformidad de in-
filtración, la cual depende del tiempo que el agua está so
bre la superficie del terreno (Tiempo de oportunidad, T_o)
y de la velocidad de infiltración.

Si la tabla pudiera cubrirse de agua en, aproximadamente, -
1/4 del tiempo necesario para regarla totalmente, el efecto
de que el agua permanezca más tiempo en su parte inicial -
que en su parte final sería mínimo, y si además estuviera a
nivel y se consiguiera que el agua desapareciera de toda su

superficie casi al mismo tiempo, la uniformidad sería muy alta. La percolación media sería, entonces, del orden del 5% del agua aplicada, ya que en la parte inicial de la foja se infiltraría alrededor de un 10% más que en la parte final. Para que se cumpla lo anteriormente expuesto es preciso que la velocidad de infiltración sea uniforme en el tablar, hecho que debe comprobarse mediante alguno de los procedimientos antes indicados.

Prácticamente todo el agua que se acumula en las depresiones existentes en el estanque se puede considerar como percolación; (suponiendo que la altura mínima de agua infiltrada, que satisface justamente el descenso de humedad del suelo, se infiltra en las zonas donde primero desaparece el agua y que la velocidad de infiltración es uniforme en toda la tabla). El volumen de agua que percola se puede estimar a partir de la altura media del agua acumulada en cada depresión y de su área. Este volumen debe añadirse al 5% (aproximado) que percola a causa del tiempo requerido para el avance del frente de agua. Por ejemplo: se supone que el agua desaparece de la mitad de la superficie de una tabla en el mismo instante, y que en la otra mitad existe una altura de agua acumulada de 10 mm.; esto corresponde a una altura de agua de 5 mm. en todo el estanque. Si la altura aplicada fue de 100 mm., las pérdidas por percolación representan un 5%.

La eficiencia de distribución se expresa de la forma siguiente:

$$E_d = \frac{\text{Altura mínima infiltrada}}{\text{Altura media infiltrada}} \times 100$$

Los valores bajos de E_d pueden indicar unas pérdidas excesivas por percolación, si se aplica un riego adecuado a toda la tabla, o bien que algunas zonas de la tabla sufren un defecto de riego si la altura media infiltrada corresponde a la altura de riego adecuada.

En el riego por inundación, al no existir escorrentía, y utilizando la media del 1/4 del área que recibe menos agua como el mínimo infiltrado, la uniformidad de distribución puede expresarse en la siguiente forma:

$$E_d = \frac{\text{Altura media aplicada} - h}{\text{Altura media aplicada}}$$

Siendo h : la altura media del agua acumulada sobre la superficie del suelo, cuando se ha infiltrado el agua en 1/4 de la superficie de la tabla.

(La uniformidad de distribución puede también determinarse por un procedimiento más preciso, similar al utilizado en el riego por fajas, usando las curvas de avance y retirada señalados en el apartado 4 de 13.5.1.2. y averiguando el tiempo y la correspondiente altura de agua infiltrada en varios puntos de la tabla que representen áreas iguales, y calculando las alturas mínima y media de agua infiltrada).

- b) Eficiencia del sistema de riego (E_s) y Eficiencia de aplicación (E_a).

La Eficiencia del sistema de riego (E_s) es la relación en porcentaje entre la altura mínima de agua infiltrada que iguala el descenso de humedad del suelo y la altura media de agua aplicada.

El valor de E_i representa la eficacia que puede conseguirse con el sistema de riego cuando se le opera apropiadamente.

La eficiencia de aplicación (E_a) es la relación en porcentaje entre la altura mínima de agua infiltrada y retenida en la zona radicular y la altura media de agua aplicada.

El valor de E_a representa la eficacia con que el agua está siendo aplicada. Adquiere su mayor significado cuando el riego aplicado satisface el descenso de humedad en el suelo. La diferencia entre los valores de E_a y E_i es una medida de los problemas de manejo del sistema.

Cuando la altura mínima infiltrada coincide con el descenso de humedad del suelo, $E_a = E_i = E_d$, ya que no hay pérdidas por escorrentía. Si el riego es excesivo E_a es menor que E_i .

El riego por inundación tiene una eficiencia alta cuando: la nivelación es correcta, la velocidad de infiltración es uniforme y se aplica a todo el terreno la adecuada altura de agua de manera rápida. Estimando las pérdidas por percolación pueden obtenerse unos valores razonables de las eficiencias; con ellos se pueden identificar y corregir los problemas de una nivelación defectuosa, los relacionados con la velocidad de avance y otros.





centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



MECANIZACION Y AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

NORMAS E INSTRUCCIONES SOBRE RIEGO POR ASPERSION

DR. FAUSTINO GARCIA LOZANO

JULIO, 1980

PROLOGO

Esta publicación sobre Normas e Instrucciones para la Redacción de Proyectos de Riego por Aspersión, pretende proporcionar a los Ingenieros que han de redactar proyectos por el sistema mencionado, una guía y orientación sobre las normas generales que rigen su empleo y los varios factores o elementos que intervienen en su diseño, y por tanto en la efectividad de su empleo.

Publicaciones sobre la redacción de proyectos de riego por aspersión, desgraciadamente no existen muchas centradas en los aspectos técnicos agronómicos e hidráulicos que intervienen de forma fundamental y básica, en una concepción acertada de los mismos. Se centran la mayoría, en describir sistemas de aspersores existente en sus líneas generales de concepción bajo el punto de vista mecánico hidráulico y en estudios económicos sobre su aplicación, pero centrándose en tener presente costes de adquisición y funcionamiento, con olvido en un número elevado de la parte de influencia favorable biológica, con repercusión en la producción que tiene el sistema para la mayoría de los cultivos en que se aplica.

Ausencia del factor anterior, a la cual se une en muchas de las publicaciones existentes, el de la influencia que en la potencia de funcionamiento necesaria y horas de manipulación del equipo, tiene el diseño de un sistema de riego por aspersión, con olvido de un estudio hidráulico correcto de pérdidas y acorde con las condiciones de terreno que imponen las topográficas del terreno.

Debido a las razones anteriores, se siente la necesidad de unificar - criterios y normas en la redacción de Proyectos de Riego por Aspersión, y por - ello se ha redactado esta publicación aprovechando las experiencias obtenidas - de instalaciones en servicio, realizadas por el autor de estas normas, así como las llevadas a cabo por él mismo en la Sección de Hidráulica Agrícola del Insti- tuto Nacional de Investigaciones Agrónomicas sita, finca El Encin (Alcalá de He- nares).

En la publicación se recopilan asimismo, las experiencias en relación con los riegos por aspersión que se realizan por la Sección de Física e Hidrodinámica del Suelo del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y las que se encuentren en marcha reciente por el Centro de Estudios Hidrográficos de la Dirección General de Obras Hidráulicas.

La publicación intenta abarcar todos los aspectos y factores básicos que intervienen en el Riego por Aspersión. desde los datos agrónomicos base para la reducción real y eficiente de Proyectos por este sistema de riego, a aquellos otros necesarios para el cálculo acertado y económico de las redes de conducción principales y de la potencia necesaria.

Esta publicación sale a la luz, como fruto de la labor de equipo del - personal agrónomico del Centro de Estudios Hidrográficos, tanto Ingenieros como Peritos, labor en íntima unión con el personal técnico de Ingenieros de Caminos, no queriendo cerrar este prólogo sin exponer mi agradecimiento a los Ingenieros Agrónomos D. Alberto Losada y D. Jesús Domínguez, del Centro de Estudios Hidrográ- ficos antes mencionado, por la colaboración, entusiasmo y competencia demostrada en la confección de esta publicación.

Finalmente estas Normas anulan y refunden lo publicado por su autor, - en el libro "Riegos por Aspersión", editado por Dossat S.A. en 1.954, así como - separatas en relación con este sistema de riego, por él publicadas.

I N D I C E

	<u>Página</u>
INTRODUCCION	7
I - <u>VENTAJAS, INCONVENIENTES Y LIMITES DE APLICACION QUE PRESENTA EL RIEGO POR ASPERSION.</u>	9
I.1.- Ventajas	9
I.2.- Inconvenientes	11
I.3.- Límites de aplicación	12
II - <u>ELEMENTOS QUE COMPONEN UN EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSION .</u>	15
II.1.- Clases de tubería y uniones o acoples	21
II.1.1.- Sistemas de acoples para equipos de áspersion con presión de trabajo alta	24
II.1.2.- Sistemas de acoples para equipos de áspersion con presión de trabajo baja	24
II.2.- Tipos de aspersores y su empleo	26
II.2.1.- Aspersores de reacción	27

	<u>Página</u>
II.2.2.- Aspersores de turbina	27
II.2.3.- Aspersores de choque	30
III - <u>CARACTERISTICAS DE LOS ASPERSORES Y EMPLEO MAS ADECUADO</u> .	33
III.1.- Presión en boquilla y caudal unitario	33
III.2.- Alcance y pluviometria media horaria	34
III.3.- Relación de pluviometria media horaria en un as- persor con su pluviometria instantánea	35
III.4.- Grado de uniformidad en la distribución y pulveri- zación del agua en un aspersor.	38
IV - <u>DATOS QUE DEFINEN LA UNIDAD DE RIEGO POR ASPERSION Y SIS- TEMAS DE TENDIDO.</u>	43
IV.1.- Determinación de las unidades de riego por asper- sión	43
IV.2.- Sistemas de implantación de los aspersores sobre - el terreno	44
IV.3.- Normas prácticas sobre las características que de- be poseer un aspersor en relación con el riego ...	48
V - <u>COMPUTO DEL CAUDAL NECESARIO EN UN PROYECTO DE RIEGO POR ASPERSION Y TIEMPO QUE SE PRECISA EN UN RIEGO.</u>	51
V.1.- Coeficiente de rendimiento en el riego por asper- - sión	52
VI - <u>UTILIZACION Y RESUMEN DE LOS DATOS SOBRE CARACTERISTICAS DEL ASPERSOR, SISTEMA DE TENDIDO Y CAUDAL NECESARIO, EN - LA REDACCION DEL PROYECTO DE RIEGO POR ASPERSION.</u>	57
VI.1.- Caudal total necesario en el proyecto y número de regadores	59

	<u>Página</u>
VII - <u>CONFECCION DE LOS TENDIDOS DE RIEGO.</u>	61
VII.1.- Cálculo de la unidad de riego precisa	62
VII.2.- Aplicación a la práctica del cálculo de la unidad de riego por aspersión	68
VIII - <u>DIFERENTES SISTEMAS DE TENDIDO QUE PUEDEN PRESENTARSE EN EL RIEGO POR ASPERSION.</u>	75
VIII.1.- Disposición de los tendidos acorde con los acci- dentes topográficos del terreno	78
IX - <u>AJUSTE DEFINITIVO DEL EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSION PRE- CISO</u>	83
IX.1.- Coeficientes medios horarios en manipulación del - equipo de riego por aspersión y su empleo	84
IX.2.- Empleo de los coeficientes anteriores en los tendi- dos	85
X - <u>CALCULO DE LA LINEA DE ASPERSORES.</u>	89
X.1.- Pérdidas por rozamiento en la línea de aspersores .	89
X.2.- Cálculo de la línea de aspersores con tendido si- guiendo la pendiente del terreno	94
X.3.- Cálculo de una línea de aspersores compuesta de dos diámetros	97
X.4.- Tubería de regadores con válvula de control de cau- dal a su entrada	99
XI - <u>TUBERIAS DE RIEGO CON ACOPLER PARA MANGUERA Y TUBERIAS - PERFORADAS, FORMULAS Y ARACOS COMPLEMENTARIOS DE USO EN - EL CALCULO DE LINEAS DE ASPERSORES.</u>	103

	<u>Página</u>
XI.1.- Tubería de riego con acoples de manguera	103
XI.2.- Tuberías de riego perforadas	103
XI.3.- Otras fórmulas y ábacos para el cálculo de las líneas de aspersores	106
XI.4.- Abaco basado en la fórmula de Hazen-Williams	113
XI.5.- Monograma para el cálculo de pérdidas en la línea de aspersores	116
XI.6.- Abaco para determinar el número de aspersores	119
XII - <u>TUBERIAS PRINCIPALES MADRES O DE ALIMENTACION.</u>	125
XII.1.- Pérdidas por rozamiento en tuberías madres de conducción, principales y derivadas	126
XII.2.- Pérdidas por rozamiento en conducciones principales fijas de gran diámetro	131
XIII - <u>PROCEDIMIENTO GENERAL DE CALCULO A SEGUIR EN EL COMPUTO DE LAS PERDIDAS DE CARGA.</u>	137
XIII.1.- Cálculo y disposiciones de la tubería madre o de alimentación del equipo	138
XIII.2.- Tendido de línea principal madre o abastecedora con varias alas de aspersores	138
XIII.2.1.- Caso de dos líneas de aspersores sobre la tubería madre o principal	139
XIII.2.2.- Caso de varias líneas de aspersores en rotación	142
XIV - <u>DETERMINACION DE LA TUBERIA MAS ECONOMICA</u>	145

	<u>Página</u>
XV - <u>DATOS COMPLEMENTARIOS PARA LA REDACCION DE UN PROYECTO DE RIEGO POR ASPERSION.</u>	149
XV.1.- Pérdidas por codos, válvulas, tes, etc.	150
XV.2.- Otros datos de interés	150
BIBLIOGRAFIA	157



INTRODUCCION

Esta Publicación, sobre los factores que intervienen en el diseño o proyecto de una instalación de Riego por Aspersión, así como sobre las directrices que rigen su empleo, tiene por fin ofrecer una mayor información de este sistema de riego, prácticamente nuevo, ya que su empleo data de hace escasamente dos - - años, en los Proyectos de riego de grandes superficies.

El reciente incremento experimentado en el empleo del Riego por Aspersión para los nuevos regadíos, así como en bastantes de los ya existentes con -- riego de pie, se ha debido en la mayoría de los casos a la mayor adaptabilidad - que presenta este sistema en terrenos con condiciones topográficas, o propiedades físicas de suelo y subsuelo, no acordes para ser regados con éxito por los sistemas normales de gravedad. Sistema éste último cuyo empleo en las condiciones desfavorables mencionadas ocasiona graves daños y obliga además, en ocasiones, a - - obras costosas de preparación o nivelación del terreno, así como de conducciones para el agua.

Lo expuesto anteriormente explica la necesidad de disponer de una mayor información sobre este sistema, la cual, por su amplitud, parece lógico constituya una publicación independiente de las Normas e Instrucciones que actualiza la - Dirección General de Obras Hidráulicas para su empleo en la redacción de los Proyectos de Regadío.

Tiendan, por tanto, estas instrucciones a poner a disposición del -- B
Ingeniero Proyectista toda la información existente sobre el Riego por Aspersión, permitiéndole contar con un elemento de orientación fácil que rápidamente le pondrá al día en el conocimiento de este nuevo sistema; además unificará criterios en la redacción de los Proyectos.

El riego por aspersión posee el carácter específico de que su empleo exige presiones para que los dispositivos de que consta puedan aplicar el agua al terreno; es asimismo un sistema de riego en cuyo Proyecto, no puede, en ningún momento, olvidarse la disposición y dimensiones que presente la unidad agrícola de explotación. Esta es la razón de comenzar esta publicación exponiendo las ventajas e inconvenientes que presenta el riego por aspersión, antes de -- iniciar la descripción de los elementos y factores que se precisan para su diseño, y de los métodos de cálculo a seguir.

I - VENTAJAS, INCONVENIENTES Y LIMITES DE APLICACION QUE PRESENTA EL RIEGO POR ASPERSION

I.1.- Ventajas.

El riego por aspersión presenta para su empleo las ventajas siguientes:

a) - Pueden regarse con su empleo terrenos de topografía muy ondulada, con gran rendimiento en la distribución del agua, sin precisar para ello nivelación o uniformización de la pendiente. Estos trabajos de nivelación y planeo son necesarios para utilizar los sistemas de pie y, a veces, no pueden realizarse en algunos terrenos sin acarrear daños graves en la fertilidad del mismo, debido a la escasa profundidad del suelo laborable, reposando sobre subsuelos de condiciones totalmente inapropiadas para el cultivo, o que cuando no poseen características desfavorables anteriores, presenta el inconveniente de una permeabilidad muy baja que puede crear problemas de encharcamientos al ser regados con los sistemas corrientes de pie.

b) - El agua es factor de importancia en la economía agrícola, al ser limitante del cultivo; cuando falta o escasea la que proporcionan las lluvias se limitan las disponibilidades de ella en los cursos naturales o ríos de la zona afectada, así como en las corrientes subterráneas con alturas grandes para ser elevadas a la superficie. En ambos casos el ahorro del agua es de gran importancia en toda transformación en regadío, siendo esta la razón del interés que en los casos citados presenta el empleo del riego por aspersión, el cual tiene un mayor rendimiento en el aprovechamiento del agua.

c) - El empleo del riego por aspersión está especialmente indicado en los terrenos con fuertes pendientes que no admiten la nivelación sin coste elevado, o sin perjuicio en la calidad del suelo laborable (lo que acarrearía una disminución en el rendimiento de los cultivos que han de implantarse). Elimina este sistema, junto con los perjuicios anteriores, los derivados del arrastre y erosión por escorrentía superficial del agua, problemas estos que se agudizan en terrenos con estructura inestable.

d) - En el caso de suelos con elevada permeabilidad y alto porcentaje de arena en su textura, así como en los excesivamente impermeables y con alto porcentaje de arcilla en su textura, es de empleo óptimo el riego por aspersión: evita las pérdidas excesivas de agua por infiltración o percolación, con el consiguiente arrastre de elementos fertilizantes, en los primeros, y las pérdidas de agua por escorrentía superficial, unida, en casos de pendientes no adecuadas, a arrastres del suelo laborable, en los segundos.

e) - En los suelos con alto porcentaje de arena en su textura suele ser escasa la capacidad de retención (máximo volumen de agua almacenable por unidad de superficie y metro de profundidad), siendo entonces indicado el empleo del riego por aspersión. Los pequeños volúmenes de riego aplicables, inferiores en muchos casos a 250 ó 300 m³/Ha. y metro de profundidad, pueden ser suministrados con riego por aspersión con modulación casi exacta y con pérdidas prácticamente nulas.

f) - Se evita, con el empleo del riego por aspersión, la construcción de canales o acequias en tierra (rasas) para la distribución del agua dentro de la explotación, tanto las de carácter estable como las anuales o periódicas, aumentando, al suprimirlas, la superficie útil de terreno disponible para el cultivo y eliminando los gastos de conservación de estas redes.

Las explotaciones transformadas en regadío por este sistema se adaptan con facilidad a los cambios necesarios, sea para la mecanización total, — sea para innovaciones de cualquier tipo en el régimen de explotación.

g) - Infiuye favorablemente el riego por aspersión en la conservación de las propiedades físicas óptimas del suelo, así como en el desarrollo de los cultivos, cuyas producciones incrementa. Las ventajas anteriores derivan de que este sistema permite modular volúmenes de riego acordes con la profundidad alcanzada por el cultivo en su desarrollo radicular.

I.2.- Inconvenientes.

a) - Elevado coste de instalación, que es inversamente proporcional a la superficie de la unidad de explotación a que atiende. Por ello al riego, con este sistema, de unidades inferiores a 10 Has. precisa, para ser económico, la asociación cooperativa de varias explotaciones en el empleo del mismo equipo.

b) - Exige normalmente mayores gastos de funcionamiento (fuera de los casos no muy corrientes de contar con presiones naturales suficientes, por disponer de desniveles aprovechables para este fin entre el punto de captación del agua y el terreno a regar): al necesitar el riego por aspersión una presión en la boquilla del aspersor no inferior a un $2,5 \text{ Kg/cm}^2$, impone un gasto que se agudiza al tener en cuenta el incremento de presión, sobre la anterior, que hay que considerar por las pérdidas debidas al rozamiento en las conducciones.

c) - En el caso de suministros de agua para el riego en forma no continua o intermitente, la falta de continuidad en este suministro repercute en el funcionamiento del sistema y es necesario, para evitarla, cubrir las necesidades de riego de los cultivos en menor tiempo, lo cual eleva los costes de instalación.

d) - Cuando las condiciones de impureza y elementos extraños que posee el agua de riego son altamente desfavorables. En estos casos se elevan los gastos de conservación y atención del equipo, que precisa dispositivos, no siempre de empleo efectivo, que impidan su entrada para evitar las incrustaciones en los dispositivos y accesorios del equipo, tuberías y aspersores. Esas incrustaciones influirían desfavorablemente en la uniformidad de la distribución del agua sobre el terreno y, por tanto, en el rendimiento del sistema, lo que a su vez merma la producción de los cultivos.

La falta de uniformidad, que en el riego por aspersión reviste un gran interés, aun acentúa más su importancia cuando se actúa con dotaciones o volúmenes de riego muy justos, ya que una disminución en esta uniformidad supone que el riego no proporcione el agua necesaria y que la distribución de ésta sobre el terreno, en superficie y profundidad, sea de gran irregularidad.

I.3.- Límites de aplicación.

A la vista de las ventajas e inconvenientes que presenta el empleo del riego por aspersión, expuestas en el apartado anterior, se establecen como límites para su empleo los siguientes:

a) - Cuando el coste por Ha. de una instalación de riego por aspersión sobrepasa al que se precisa para su riego por métodos de pie o escurrimiento, incluidas nivelaciones, en un 25%.

b) - Cuando la entrega o disponibilidad de agua para el riego de un terreno no es continua y está sujeta a turnos con horarios que obligan a módulos de utilización altos.

En este caso la utilización total del agua en tan cortos tiempos — obliga a instalaciones de riego por aspersión costosísimas.

c) - Cuando la instalación de riego por aspersión deba atender cultivos que exijan normalmente tratamientos de insecticidas y anticriptogmicidas en número elevado y las condiciones del terreno obliguen a riegos frecuentes, que eliminan prematuramente el producto aplicado, encareciendo su empleo.

En estos casos la instalación debe proyectarse previendo la aplicación de los citados tratamientos, al mismo tiempo del riego.

d) - Cuando el agua de riego posea composición química que pueda producir corrosión en el material del equipo de riego por aspersión, o bien existan relaciones electro-químicas entre el suelo que ha de ser regado y el material del equipo que conduzcan al mismo efecto desfavorable.

e) - Cuando las condiciones topográficas que el terreno presenta — obliguen a un trazado de las redes de conducción y distribución del agua de riego que permita exclusivamente el empleo del sistema de riego por aspersión accionado con grupos moto-bombas móviles.

En este caso, la implantación del riego por aspersión debe ir precedida de un estudio detallado del coste inicial del mismo con los gastos de amortización, conservación y reparaciones, así como de las horas precisas para el cambio de posición del equipo, que es superior al que precisan las instalaciones no móviles.

Los resultados del examen de las condiciones límites anteriores, que pueden eliminar la utilización del riego por aspersión en un proyecto de regadío, son los siguientes:

1a) - El coste de amortización, funcionamiento, conservación y reparaciones representa por Ha. regada una cifra superior a las 1.000 pts. en zonas con cultivos extensivos de regadío o a las 2.000 pts/Ha. en zonas con cultivos intensivos.

2a) - Las horas precisas para el transporte del equipo y su instalación sobre el terreno obliga a horarios útiles de riego, en el mes de mayor intensidad, inferiores a las 16 ó 18 horas. Asimismo cuando el coste adicional de un mayor número de elementos en el equipo de riego por aspersión, para compensar las horas útiles de riego empleadas en desplazamientos, sobrepase el coste normal de instalaciones con horarios normales en un 10%, o bien no sea posible esta corrección al no disponer de un mayor módulo de utilización de agua de riego.

3a) - Cuando las alturas manométricas de elevación precisas sobrepasen los 60 metros, caso de no tratarse de cultivos frutales o praderas, que precisan menor coste de instalación por Ha.; en este caso puede admitirse la altura manométrica total hasta los 80 metros de carga.

II - ELEMENTOS QUE COMPONEN UN EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSION

Todo equipo de riego por aspersión, independientemente de que el grupo moto-bomba o electrobomba que haya de accionarlo sea fijo o móvil, consta de los elementos siguientes:

a) - Tubería principal, o tubería madre, que puede ser móvil o fija; en ciertos casos, para disminuir el número de tomas o hidrantes que se precisan en la tubería fija, se dispone de una parte de tubería principal fija y otra - móvil.

b) - Tuberías de regadores, que componen el verdadero elemento del equipo para aplicar el agua al terreno. Estas tuberías son siempre móviles.

c) - Aspersores: Encargados de distribuir el agua al terreno de forma continua con un grado de uniformidad y pulverización adecuada en el chorro, evitando perjuicios caso de no ser el adecuado al cultivo y a las propiedades físicas del terreno.

d) - Piezas auxiliares, que proporcionarán movilidad al equipo de riego por aspersión permitiéndole adaptarse a las condiciones topográficas del terreno y a las irregularidades del contorno de la parcela que ha de ser regada. Estas piezas consisten normalmente en codos, hidrantes, conos reductores, tubos de elevación y acople de los aspersores, tes de derivación, cruces de derivación, etc.

e) - Grupo moto-bomba o electro-bomba, para impulsar el agua a presión a través de las tuberías del equipo de riego por aspersión. Esa presión -

- ① VALVULA DE PIE O ASPIRACION
- ② TUBERIA DE ASPIRACION
- ③ GRUPO MOTO-BOMBA O ELECTRO-BOMBA
- ④ VALVULA DE COMPUERTA IMPULSION
- ⑤ CUELLO DE CISNE DE ACOPLA AL GRUPO MOTO O ELECTRO-BOMBA DEL EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSION. PIEZA QUE PUEDE SER SUSTITUIDA POR LA ⑥ QUE ES UN ACOPLA DE TUBO DE GOMA PARA PRESION ENLAZANDO EL GRUPO MOTO O ELECTRO-BOMBA AL EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSION. O POR LA ⑦ CON DOS CURVAS DE 90°.
- TODAS LAS PIEZAS SON CON ENLACE O ACOPLA DE T. DE RIEGO POR ASP.
- ⑧ CRUZ DE SALIDA CON ACOPLA DE RIEGO POR ASPERSION PARA DESDE EL MISMO EMPLAZAMIENTO DEL GRUPO DE BOMBEO, PODER TENDER TRES POSICIONES DE TUBERIA CON REGADORES. PIEZA QUE PUEDE SER SUSTITUIDA PERDIENDO MOVILIDAD POR LA ⑨ T. DE DERIVACION O ⑩ CURVA DE 90°
- ⑪ T. DE DERIVACION QUE PUEDE SER SUSTITUIDA POR ⑫ T. DE DERIVACION PROVISTA DE VALVULA CON CIERRE AUTOMATICO Y LLAVE CON ACOPLA PARA ELLA QUE LA CONECTA A LA TUBERIA DE ASPERSORES. SIRVE ESTA PIEZA ⑫ PARA ACOPLAR Y DESPLAZAR TUBERIAS DE ASPERSORES SIN PARAR EL GRUPO DE BOMBEO.
- ⑬ COMO REDUCTOR PARA PASAR DE TUBERIA PRINCIPAL O DE CONDUCCION A TUBERIA DE REGADORES. CUANDO TIENEN DIAMETROS DISTINTOS. ESTA PIEZA PUEDE COLOCARSE A LA SALIDA DE LA T. ⑪, DE LA PIEZA ⑫ O DE LA CRUZ ⑧
- ⑭ CURVA DE 90° CON ACOPLA AUTOMATICOS
- ⑮ TAPONES DE OBTURACION FINAL DE TUBERIA DE ASPERSION PRINCIPAL O DE REGADORES.
- ⑯ ASPERSORES CON TUBOS SOPORTES

- Ⓐ TUBERIA MADRE O PRINCIPAL CON ACOPLA AUTOMATICO
- Ⓑ TUBERIA DE REGADORES CON ACOPLA O ADAPTACION PARA INSTALAR EN EL REGADOR, EN EL CASO DE ASPERSORES O REGADORES DE BAJA PRESION Y CORTO ALCANCE. EN EL CASO DE ASPERSORES DE ALTA PRESION Y GRAN ALCANCE, EL ACOPLA PARA EL ASPER SE INSTALA UNIENDO DOS TUBOS Y NORMALMENTE TIENE LA DISPOSICION DE Ⓒ

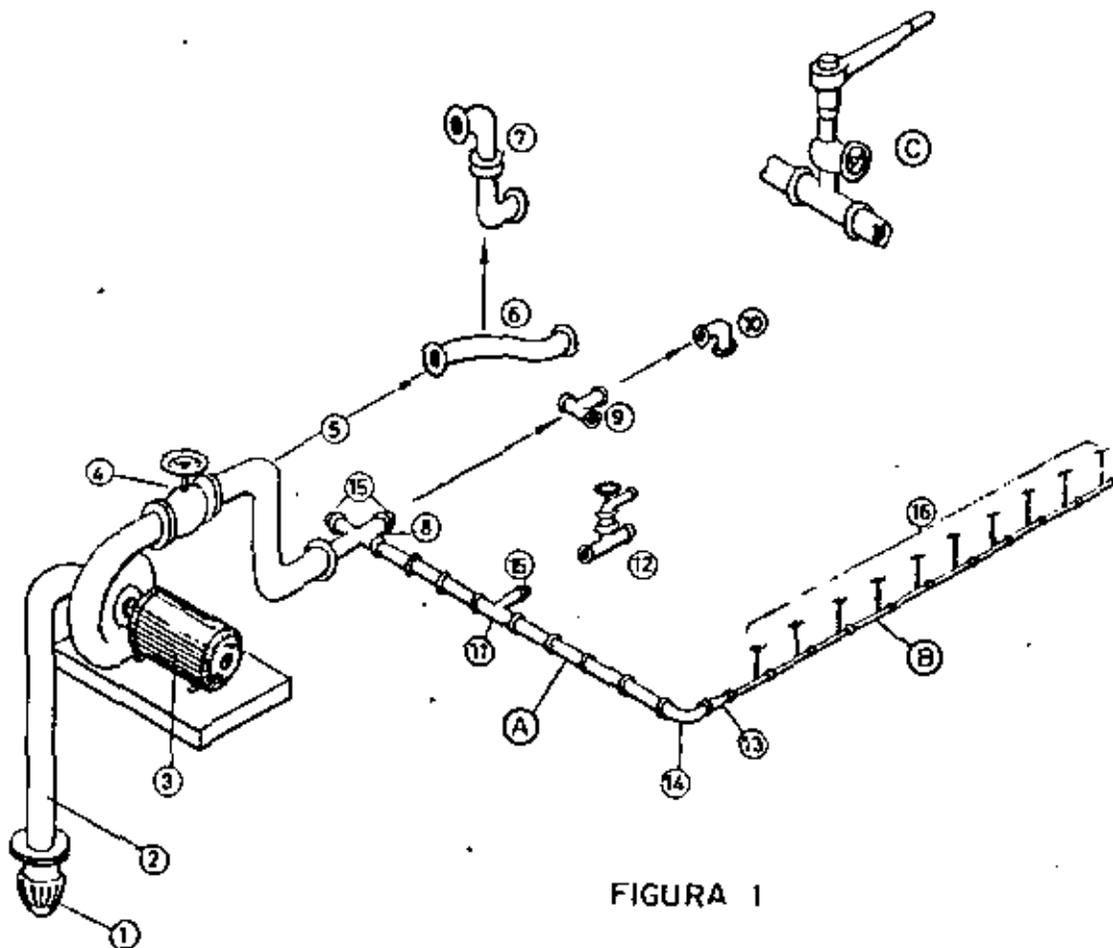


FIGURA 1

ha de proporcionar, descontadas las pérdidas por rozamientos y en inflexiones, la carga que se precisa en la boquilla del aspersor.

Como aclaración de la relación anterior, damos un croquis general - de las piezas que normalmente forman un equipo de riego por aspersión, con su descripción y variaciones, según se trate de instalaciones fijas o permanentes, semi-permanentes o móviles (fig. 1).

La fig. 2, y las disposiciones A y B de la fig. 3 muestran instalaciones de riego por aspersión permanentes: en la disposición A, el tramo AB de conducción es de tubería fija y permanente, normalmente enterrada; de esta tubería parten las tomas a las cuales se adapta la tubería de aspersores que ya es móvil pues se puede ir desplazando a cada una de las tomas de la tubería AB, - sucesivamente. Esta disposición no permite variación entre la separación de - los tendidos c y d de la tubería móvil de aspersores.

En la disposición B, los tramos AC - AD - DE - DB - BF de tuberías - de conducción son fijos y están normalmente enterrados; a estos tramos van un das las tomas que sirven para instalar los aspersores y que son igualmente fijas. Esta disposición no permite variación de distancias entre aspersores ni - entre las líneas de estos, es decir entre cd y ef.

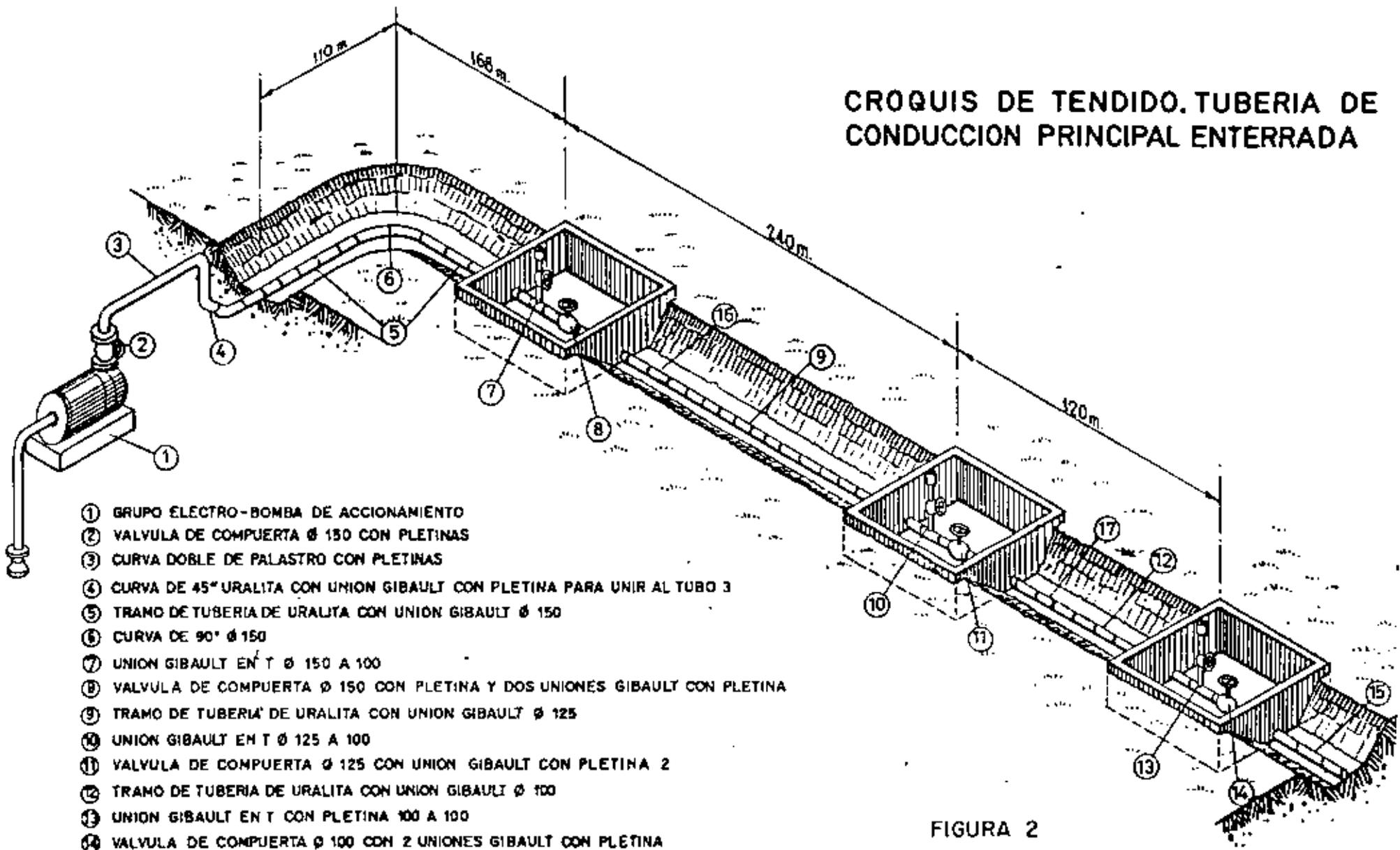
Las instalaciones de riego por aspersión permanentes, son costosas - al exigir gran longitud de tubería fija y estable. Tienen campo de aplicación limitado a plantaciones frutales o arbustivas, de gran valor productivo; asimismo para la lucha o defensa de las primeras contra las heladas.

Las instalaciones de riego por aspersión semipermanentes (fig. 4) re presentan la característica de que el ramal de conducción principal, o los derivados de éste con el mismo carácter ab, son de tubería fija que puede ser en terrada o extendida sobre el terreno, pero que tiene siempre una posición esta ble. De este o de estos tramos de conducción parten, adaptadas a la toma correg pondiente, las tuberías móviles ce, hf, dg y cd, tuberías que, como muestran - los tendidos que de ella figuran en el croquis, tienen variabilidad amplia en sus posiciones, adaptándose a los diversos cultivos a establecer o a la forma de los campos que han de ser regados.

Las instalaciones anteriores, por lo general, precisan estaciones de bombeo fijas y estables, así como que el punto de captación del agua para el - riego sea fijo.

Por último los sistemas de riego por aspersión móviles son aquellos en que la totalidad del equipo puede ser transportado sobre el terreno, es de cir tuberías y equipos de bombeo. En este sistema, como se indica en el cro-

CROQUIS DE TENDIDO. TUBERIA DE CONDUCCION PRINCIPAL ENTERRADA



- ① GRUPO ELECTRO-BOMBA DE ACCIONAMIENTO
- ② VALVULA DE COMPUERTA Ø 150 CON PLETINAS
- ③ CURVA DOBLE DE PALASTRO CON PLETINAS
- ④ CURVA DE 45° URALITA CON UNION GIBAULT CON PLETINA PARA UNIR AL TUBO 3
- ⑤ TRAMO DE TUBERIA DE URALITA CON UNION GIBAULT Ø 150
- ⑥ CURVA DE 90° Ø 150
- ⑦ UNION GIBAULT EN T Ø 150 A 100
- ⑧ VALVULA DE COMPUERTA Ø 150 CON PLETINA Y DOS UNIONES GIBAULT CON PLETINA
- ⑨ TRAMO DE TUBERIA DE URALITA CON UNION GIBAULT Ø 125
- ⑩ UNION GIBAULT EN T Ø 125 A 100
- ⑪ VALVULA DE COMPUERTA Ø 125 CON UNION GIBAULT CON PLETINA 2
- ⑫ TRAMO DE TUBERIA DE URALITA CON UNION GIBAULT Ø 100
- ⑬ UNION GIBAULT EN T CON PLETINA 100 A 100
- ⑭ VALVULA DE COMPUERTA Ø 100 CON 2 UNIONES GIBAULT CON PLETINA
- ⑮ TUBO DE PALASTRO Ø 100 DESAGÜE Y LIMPIEZA, TUBERIA CON PLETINA
- ⑯ CONO REDUCTOR 150 A 125
- ⑰ CONO REDUCTOR 125 A 100

FIGURA 2

DISPOSICION A

DISPOSICION B

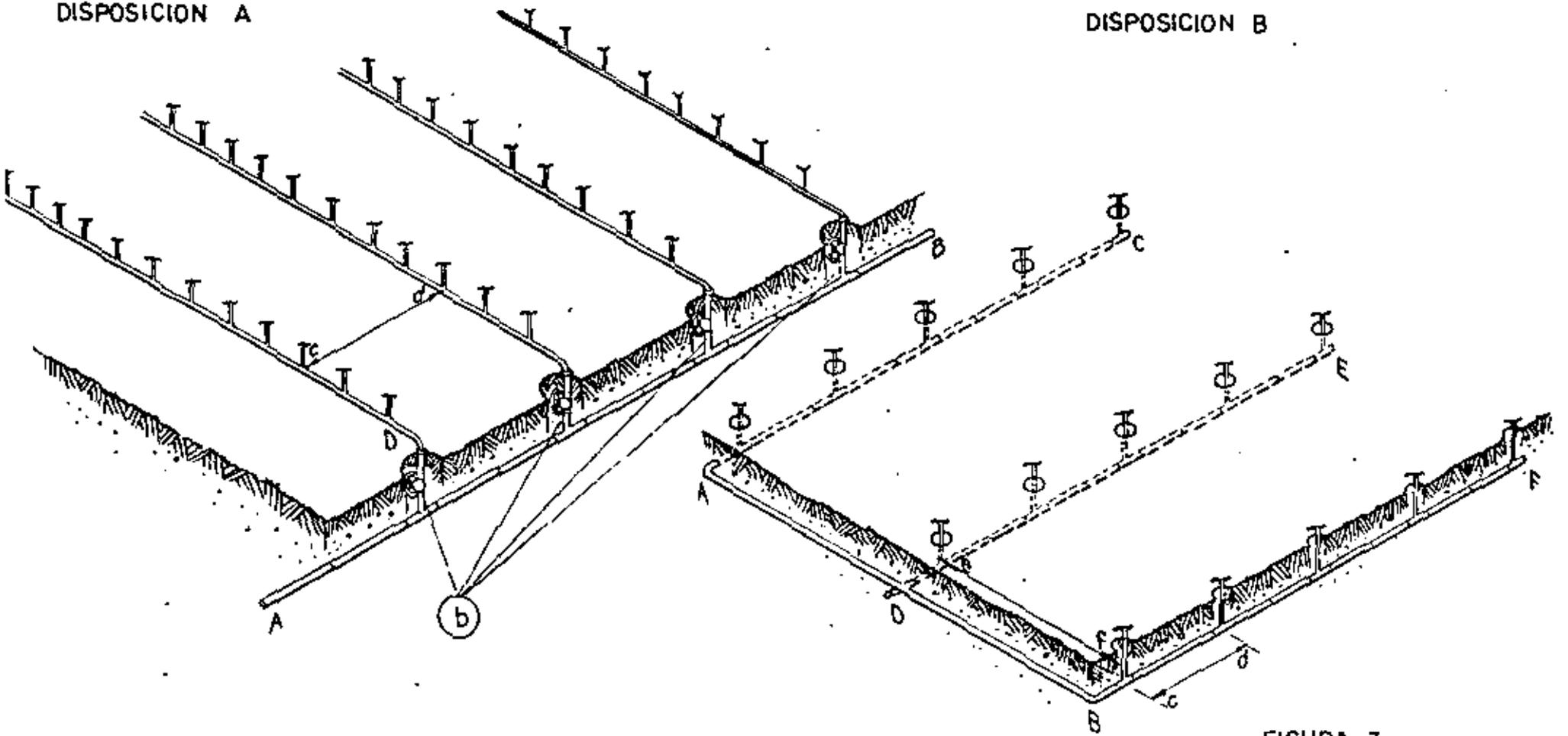


FIGURA 3

SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSION PERMANENTE

SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSION SEMI-PERMANENTES

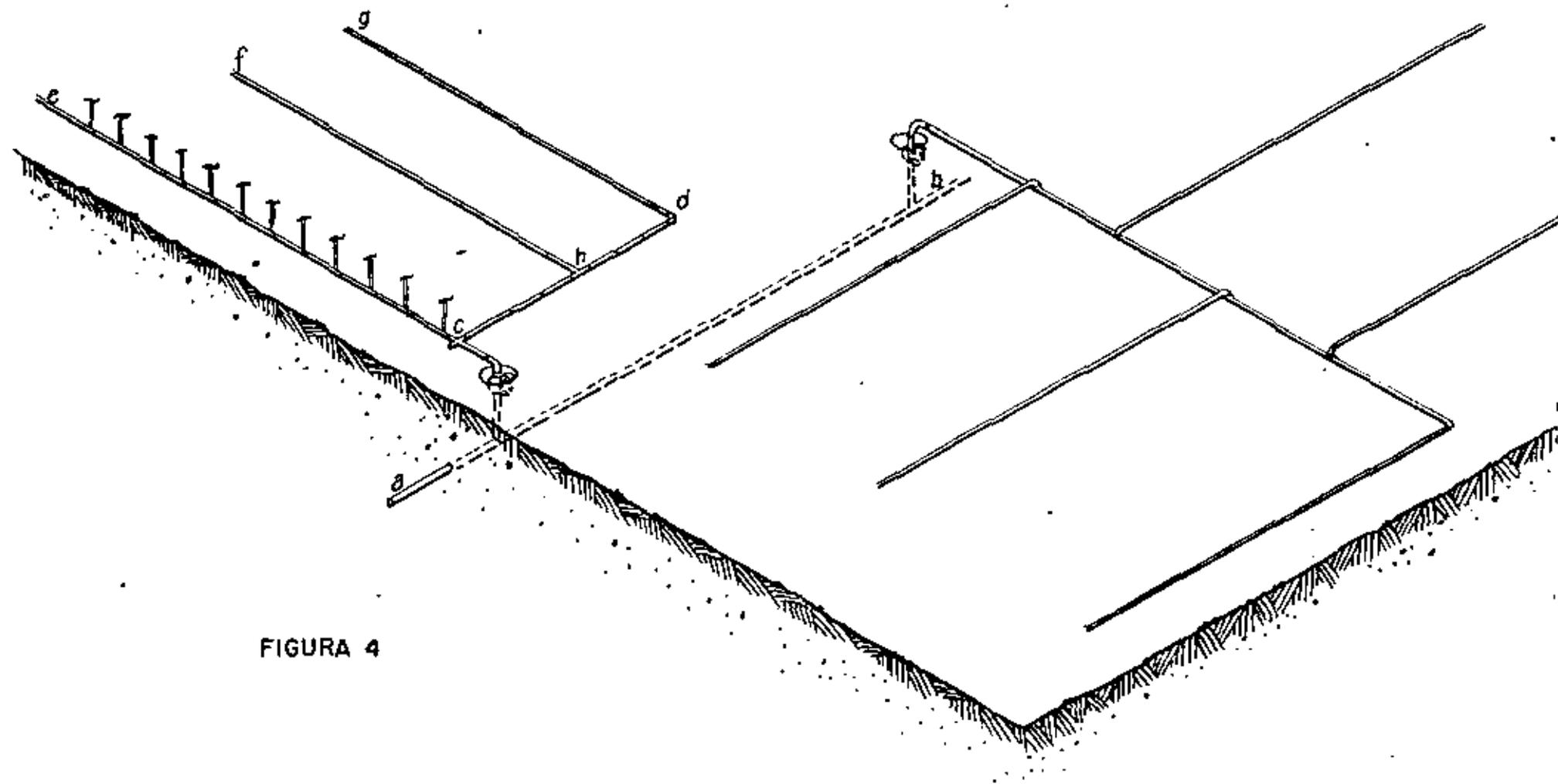


FIGURA 4

quis correspondiente (fig. 5), el grupo moto-bomba es móvil y puede desplazarse a lo largo de la conducción de captación (acequias o cauce natural) instalándose frente a los pozos correspondiente A, donde se introduce la tubería o manguera de aspiración y cuyas separaciones dependen de la longitud de tubería móvil abastecedora ab de que se disponga (1ª disposición del tendido, en parrilla o tridente).

Cuando las curvas de nivel obliguen a un tendido del tipo de la 2ª disposición del croquis, la separación de las tomas dependerá de la longitud máxima; cd, que puede atender la tubería de aspersores o ala regadora.

II.1.- Clases de tubería y uniones o acoples.

Las tuberías que normalmente se emplean en riegos por aspersión, están construidas de aluminio o acero estirado, estando en estas últimas soldada la unión a fuego. También se usan tuberías de chapa galvanizada, soldadas con cordón de soldadura eléctrica, o tuberías de bandas de chapa enrolladas en espiral con el mismo tipo de soldadura anterior.

Para lograr un mayor período de uso, resistencia a los golpes, menor factor de rozamiento, y ligereza de peso para el transporte, se recomiendan las tuberías de aluminio o de acero estirado soldadas a fuego, o con solape de unión cosido con soldadura.

Las tuberías empleadas para riego por aspersión se clasifican, según su empleo, en las clases siguientes:

a) - Tubería de conducción madre, de ϕ normalmente superior a las 3" (75 mm.), que se caracterizan por no llevar en ellas dispositivos o acoplamientos para instalar los aspersores.

b) - Tubería de riego, normalmente de diámetros inferiores a 3" (75 mm.), que van provistos de los dispositivos para instalar en ellos los aspersores.

Las características que deben presentar estas tuberías son las siguientes:

1º) - Ser de peso ligero y de longitud no superior a los 6 m. Asimismo se aconseja que esta longitud sea standard, al ser normalmente las separaciones entre líneas de tuberías, y entre aspersores, múltiplos o sub-múltiplos de esta longitud.

SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION MOVIL

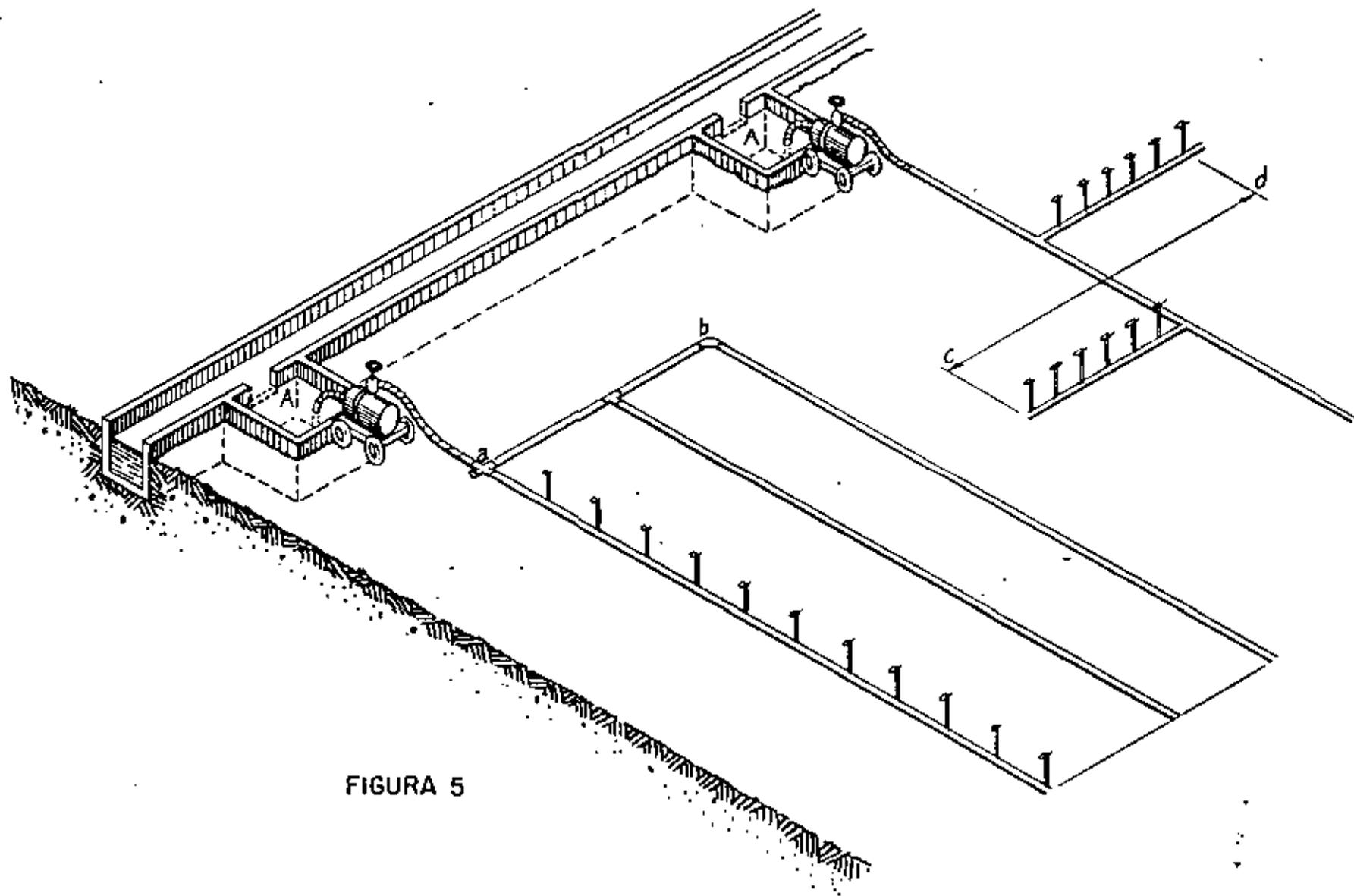


FIGURA 5

2º) - El peso de las tuberías para riego por aspersión no debe sobrepasar por tubo de 6 metros y para cada ϕ los pesos siguientes:

TUBOS DE ACERO

ϕ	Kg. Tubo
2" ϕ 50 mm.	7 a 8
3" ϕ 75 mm.	11 a 12
4" ϕ 100 mm.	21 a 23
5" ϕ 125 mm.	28 a 30

NOTA = (pesos incluidos los acoples)

TUBOS DE ALUMINIO

ϕ	Kg. Tubo
2" ϕ 50 mm.	5,6 a 6,5
3" ϕ 75 mm.	9,5 a 10,4
4" ϕ 100 mm.	13,- a 13,9
5" ϕ 125 mm.	16,5 a 17,5

NOTA = (pesos incluidos los acoples)

Por otro lado estas tuberías deben soportar presiones de prueba de 21 a 22 Kgs/cm²., como mínimo.

Siendo una de las características principales de las tuberías móviles de riego por aspersión presentar una unión o acople rápido y seguro entre los tubos, con cierre perfecto de esta unión sin escapes de agua en trabajo, las tuberías deben poseer:

a) - Gran facilidad de acople y desacople entre los tramos de la misma, pudiendo desacoplarse cualquier tramo intermedio sin necesidad de realizar la operación citada en los restantes.

b) - Poser flexibilidad suficiente en las uniones que permita adaptar el tendido de las tuberías a las irregularidades del terreno y a los pequeños desniveles entre parcelas, como asimismo salvar el paso de pequeños cauces

que puedan existir.

c) - Poseer una rigidez de unión entre los tubos que permita transportar la tubería sobre el terreno por conjuntos de varios tramos, sin desacoplarla.

d) - Que en lo posible, cuando se va a realizar el traslado de la tubería, esta evacue con facilidad el agua que contiene en su interior, para realizar el desacople sin entorpecimientos y facilitar el transporte.

Las características anteriores dependen del sistema de acople que posea la tubería; por ello se dan en estas instrucciones los modelos normales de unión existentes.

II.1.1.- Sistemas de acoples para equipos de aspersión con presión de trabajo alta.

Estos sistemas exigen una manipulación directa de la unión para lograr el cierre y sus tuberías no disfrutan de las características de movilidad dadas en el apartado anterior.

Se emplean en equipos de riego por aspersión con presión de trabajo, en boquilla de aspersor, superior a los 3,5 y 4 Kgs/cm².

Como modelos de estos acoples y del sistema que efectúa el cierre damos algunos de ellos en el croquis correspondiente (fig. 6).

En el examen del croquis mencionado, vemos que los acoples para equipos por aspersión de presión alta tienen una junta de goma en la boquilla hembra de la unión (sobre la cual se apoya con presión la boquilla macho) que es sostenida por la grapa de unión con la que van provistos. Este sistema de unión tiene cierre hermético total, incluso para el aire que pudiera circular por la tubería.

II.1.2.- Sistemas de acoples para equipos de aspersión con presión de trabajo baja.

El tubo penetra en el acople hembra, estando éste provisto de una junta de goma con labios que se adapta a la superficie del tubo sobre el cual se apoya. La presión de cierre, o de unión total de esta junta con el tubo, es —

MODELOS DE UNIONES O ACOPLES EN TUBERIA DE RIEGO POR ASPERSION

CIERRES PARA PRESIONES ALTAS



CIERRES PARA PRESIONES BAJAS

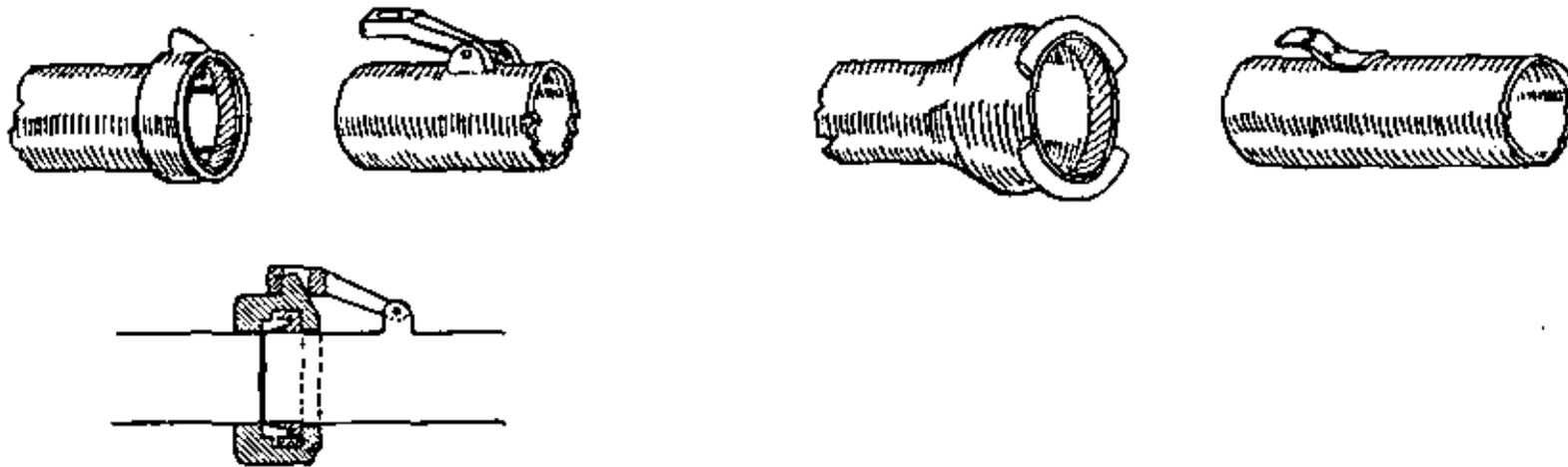


FIGURA 6

proporcionada por la presión del agua que circula en el interior de las tuberías. Con ello la junta no efectúa como en el caso anterior un cierre hermético de la tubería al aire; asimismo este cierre no comienza a realizarse hasta que el agua dentro de la tubería adquiere una presión superior a 0,5 Kgs/cm² y, desde esta presión, va aumentando la perfección del cierre de la junta con el aumento de la presión del agua en el interior de la tubería hasta el límite de 3,5 Kgs/cm., máximo para su empleo.

En este sistema las grapas de sujeción, de que van provistos los acoples, sirven exclusivamente para que la presión del agua no expulse al tubo introducido en el acople hembra. En la efectividad de este cierre influye el grado de elasticidad y adaptación al tubo de los labios de la junta de goma. Por otro lado, cuando disminuye la presión de la tubería, el cierre de la junta con el tubo cede y éstos se vacían del agua que contienen, facilitando su traslado.

II.2.- Tipos de aspersores y su empleo.

En el riego por aspersión, el elemento fundamental para aplicar el agua al terreno es el aspersor o regador.

El aspersor debe tener dos condiciones fundamentales en su trabajo:

- 1ª) - giro uniforme para cubrir desde un punto un espacio determinado de terreno.
- 2ª) - presión en la salida ajustada con el caudal, radio de alcance, grado de pulverización del agua y velocidad de giro acordes con las condiciones que imponen las propiedades físicas del terreno.

Teniendo presente las condiciones anteriores, nos encontramos con los dos tipos de aspersores siguientes:

- a) - Aspersores de giro rápido.
- b) - Aspersores de giro lento.

Los aspersores de giro rápido sólo se utilizan, a causa del acortamiento del chorro que produce la velocidad alta de giro, para regar césped o parques en jardinería y son, por tanto, de aplicación prácticamente nula en agricultura, donde son más corrientes los de giro lento. Las diversas clases de aspersores que de este tipo existen son:

II.2.1.- Aspersores de reacción.

El giro del aparato se produce por la reacción del agua a la salida de la boquilla del aspersor, ya que su dirección forma ángulo con el eje del tubo del mismo. Van provistos estos aparatos de una palanca interruptora del chorro, instalada a la salida de la boquilla, para regar las zonas próximas.

II.2.2.- Aspersores de turbina.

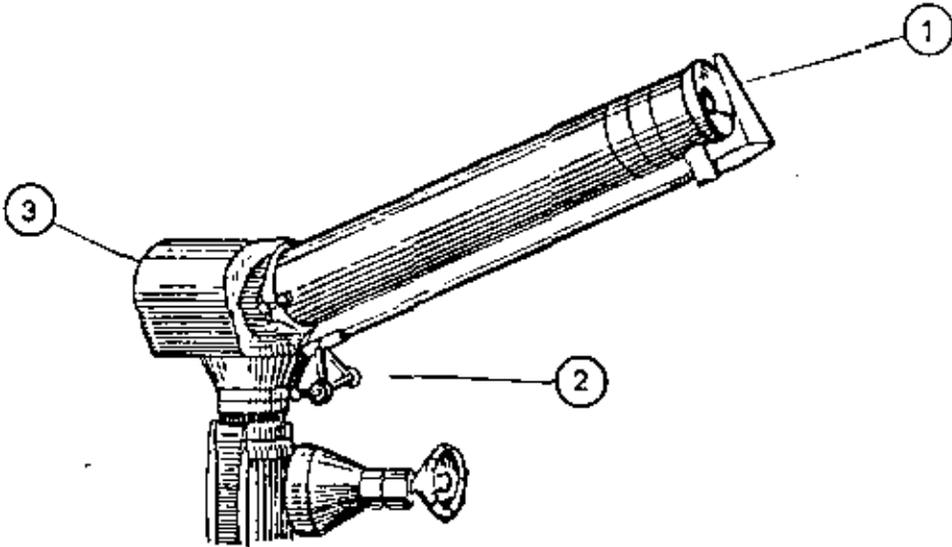
En estos aspersores el giro se produce por la incidencia del chorro en una rueda de aspas ó álabes, similar a la que posee una rueda hidráulica. El movimiento de la rueda se transmite a un eje instalado a lo largo del tubo del aspersor y de este, por medio de engranajes, a la base del mismo para producir su giro o rotación.

En los aspersores de turbina, la interrupción del chorro para regar las zonas próximas se realiza al chocar ese chorro con cada álabe, o aleta, de la turbina o rueda hidráulica mencionada.

Estos aspersores mencionados son de gran presión de trabajo, superior a 3 Kgs/cm²., gran alcance e intensidad horaria de precipitación alta. Está indicado su empleo para el riego de praderas o de cultivos arbustivos, así como en algunos cultivos frutales, como el plátano, donde interesa fuerte choque del chorro con las hojas o ramajes del árbol, para defensa de los ataques de los insectos. Tienen la ventaja del gran alcance eliminando tendidos de tuberías con gran número de aspersores, pero presentan el inconveniente de necesitar, para las tuberías de tendido que soportan los aspersores, mayor diámetro, aparte de afectarles los vientos, cuando son de gran intensidad, acortando el alcance del chorro y produciendo en este caso irregularidades acusadas en los alcances del agua a lo largo del giro. Asimismo son aparatos de coste elevado y gran complicación mecánica, ya que van provistos de un regulador de velocidad de giro consistente en una bomba de presión de aceite que, al ser accionada por el giro del propio aspersor, opone menor o mayor resistencia y produce mayor o menor velocidad en el giro.

Como aclaración de lo expuesto sobre estas dos clases de aspersores, damos croquis de aspersor de reacción y de turbina en las figuras 7 y 8; se —

ASPERSOR DE REACCION



ASPERSOR DE TURBINA

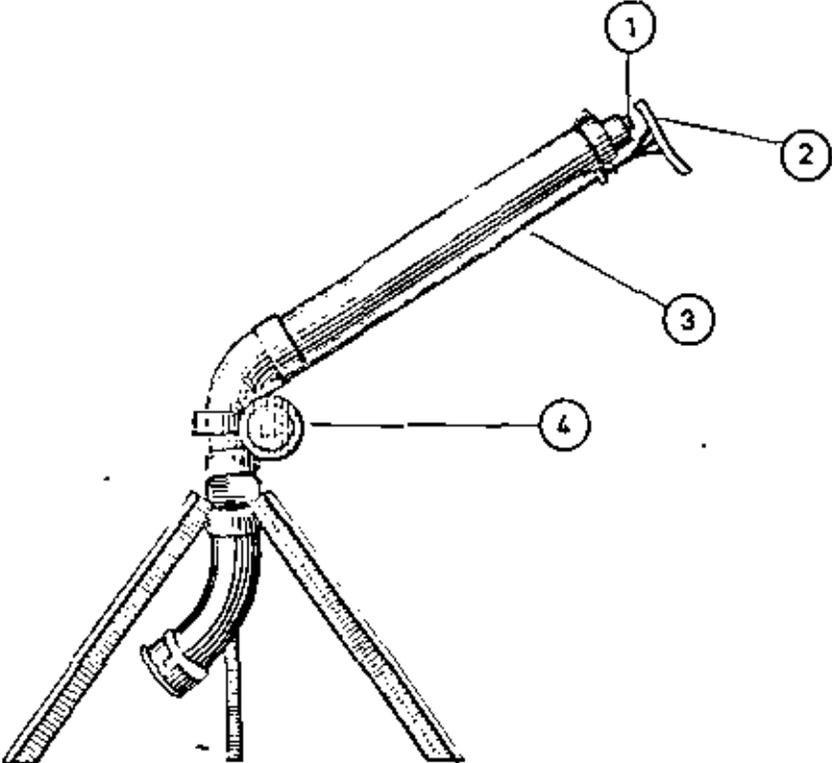


FIGURA 7

ASPERSORES DE CHOQUE

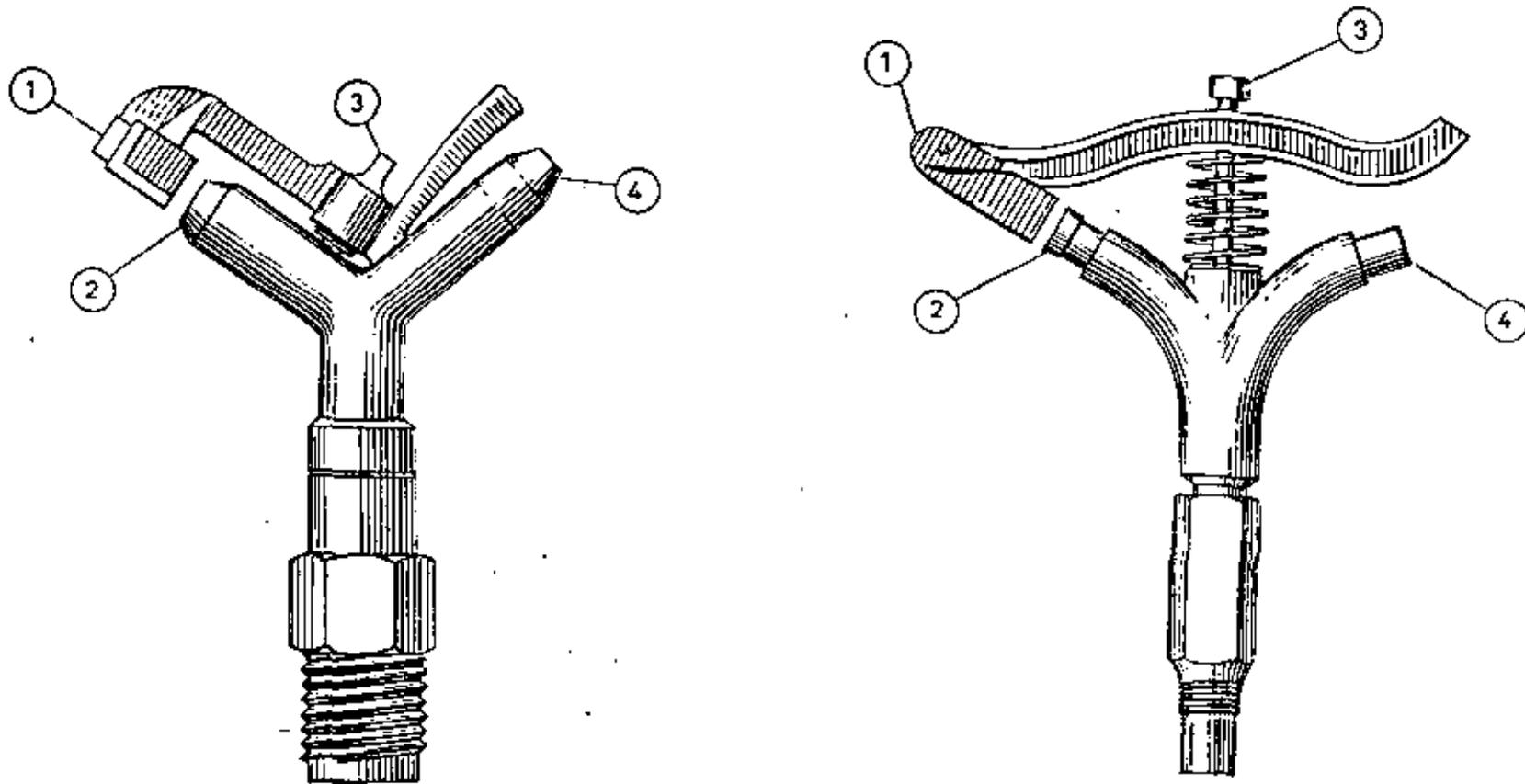


FIGURA 8

puede observar que, para el aspersor de reacción (fig. 7), 1 es la lámina de interrupción del chorro, cuyo movimiento alternativo se imprime por un dispositivo de retallo ondulado 2. En 3 se señala el freno, o regulador, de la velocidad de giro.

En el aspersor de turbina (fig. 7), 1 es la boquilla, 2 la turbina, 3 el eje que transmite el movimiento de la turbina a la caja de engranajes con reducción, 4, y engranajes que proporciona el giro del aspersor.

II.2.3.- Aspersores de choque.

Estos aspersores son los de mayor empleo en agricultura y trabajan, normalmente, a presiones inferiores a los 3,5 Kgs/cm²., en boquilla. El funcionamiento de los mismos se realiza por los movimientos alternativos de un brazo que tiene en uno de los extremos un dispositivo o lámina que interrumpe el chorro y, por efecto de la inercia que el impacto proporciona a la masa de que va provisto el brazo en el otro extremo, se produce el giro. Los movimientos del brazo mencionado son alternativos por efecto de un muelle del que va provisto su eje de giro que hace que, después del alejamiento del brazo del chorro por el impacto, vuelva otra vez a interrumpirlo.

Son aspersores que pueden llevar una o dos boquillas. En este último caso los diámetros son distintos y una de las boquillas acciona el brazo para el choque y produce el giro del aspersor.

En el primer croquis de la Fig. 8, Aspersores de choque, al agua que sale por la boquilla 2 incide en la lámina 1, alejándola y volviendo esta a incidir de nuevo en el chorro por la acción del muelle instalado en 3. El giro se produce por el choque de la parte posterior de esta lámina con el aspersor. El chorro que sale de la boquilla 4 es el de alcance máximo.

En el otro croquis de la Fig. 8, aspersores de choque, el chorro que sale de la boquilla 2 incide en la lámina 1, volviendo después del desplazamiento a la posición primitiva por intermedio del resorte 3. Esta interrupción sirve, como en el aspersor antes descrito, para regar las zonas próximas. El chorro que sale de la boquilla 4 tiene dirección inclinada respecto al eje del tubo que lleva o soporta esta boquilla, produciendo una reacción que es la que ocasiona el giro.

En los aspersores descritos, el ángulo del tubo que soporta la boqui

lla de alcance o principal puede ser variable respecto a la horizontal. Este ángulo influye en el alcance que posee el aspersor y le permite, según su variación, el empleo del riego por aspersión en cultivos de porte alto (árboles frutales) en los cuales no interesa que choque el chorro con el ramaje, ya que -- afectaría al alcance y uniformidad de la distribución del agua.

Los aspersores tienen unas características mecánicas e hidráulicas -- propias que figuran, o deben figurar, en el catálogo y que son base de su aplicación en este sistema de riego. También deben figurar en dichos catálogos las distancias o separaciones óptimas a las cuales deben colocarse en su tendido -- sobre el terreno, para lograr una uniformidad máxima en la distribución del -- agua sobre el mismo.

Las características mencionadas anteriormente son descritas en el capítulo siguiente.

III.1.- Presión en boquilla y caudal unitario.

La base del funcionamiento y de la eficacia del aspersor, en su alcance, velocidad de giro y grado de pulverización, es la presión de trabajo que precisa en boquilla, o punto de salida del agua.

Por ello son características primordiales en todo aspersor las de las boquillas y, para cada tipo de esta, figuran o deben figurar en primer lugar - los datos siguientes:

Diámetro.- Cuando se trata de aspersores con dos o mas boquillas debe figurar el de cada una de ellas.

Presión de Trabajo.- Frente al diámetro de las boquillas figura la presión de trabajo precisa, normalmente dada en Kgs/cm^2 ; se refiere a la boquilla principal o de mayor diámetro.

Para cada diámetro no corresponde una sola presión de trabajo, sino varias figurando o debiendo figurar al lado de éstas los caudales unitarios que proporciona (en litros por minuto o litros por hora). Asimismo se suelen destacar los caudales y presiones que se consideren óptimos respecto al grado de pulverización y uniformidad que proporciona el aspersor.

La gama de presiones, como se ha indicado anteriormente al describir los diversos tipos de aspersores, es variable pues oscila normalmente de 1,5 a

8 Kgs/cm², y los caudales de 450 a 120.000 litros/hora. Estas cifras son meramente informativas pues, en realidad, las que definen al aspersor para su empleo son las de alcance y pluviometría media horaria, que se describen en el apartado siguiente:

III.2.- Alcance y pluviometría media horaria.

Estos datos deben figurar, como los anteriores, al definir las características de un aspersor.

El primero de ellos, alcance, es función de la presión de trabajo del aspersor en boquilla y del caudal que este proporciona, así como del grado de pulverización del aspersor y del de uniformidad con que distribuye el agua sobre el terreno.

Para cada diámetro de boquilla que el aspersor puede usar corresponde una presión de trabajo en boquilla, un caudal y un alcance en metros.

La pluviometría media horaria es un dato de importancia en la elección del aspersor para su empleo en el Proyecto de riego por aspersión. Esta elección ha de estar de acuerdo con las propiedades físicas del terreno y condiciones de intensidad óptima de lluvia que admita este y el cultivo, o cultivos que han de ser regados.

Esta pluviometría debe figurar al lado de las características de presión, alcance y caudal con arreglo a diámetro de boquilla, ya que es resultado de la unión de los datos anteriores.

Se define por I_h = Intensidad media de lluvia horaria en mm. cuyo valor es:

$$I_h = \frac{q}{S} \times 1.000 \text{ mm/hora.}$$

siendo: q = caudal en m³ que arroja el espesor por hora; S = superficie que cubre el aspersor con arreglo al radio de alcance r , es decir, πr^2 en m².

Se da en mm. totales de altura de agua proporcionados al terreno (teniendo en cuenta que 1 mm. es igual a 10 m³/Ha. y a 1 litro por m², unidad esta última que figura en algunos catálogos al describir el aspersor). No obstante, como los datos físicos del terreno nos proporcionan su permeabilidad en mm. de altura de agua por hora, siempre se traducirá la pluviometría a mm/hora. De esta forma se escogerá el aspersor de forma que no sobrepase en su intensidad de

lluvia a la del terreno, para no producir encharcamientos o erosiones.

Damos el siguiente cuadro como orientación de las pluviometrias que admiten los terrenos cuando al redactar un proyecto de riego por aspersión no se dispone de los Análisis Físicos correspondientes que han de figurar en todo Informe Agronómico.

PLUVIOMETRIA QUE ADMITEN LOS TERRENOS CON ARREGLO A SU TEXTURA	
TEXTURA	PLUVIOMETRIA ADMISIBLE.
Terrenos arcillosos	6 mm/hora
Terrenos de constitución media o francos con tendencia arcillosa.	6 a 12 mm/hora
Terrenos de constitución media o francos con tendencia a ligeros.	12 a 20 mm/hora
Terrenos ligeros y arenosos.	20 a 30 mm/hora

También, la pendiente que posee el terreno que ha de regarse influye en su permeabilidad para el agua, reduciéndola. Se da un cuadro de pluviometrias medias horarias que admiten los terrenos con diversas texturas, según pendiente y vegetación en ellos existente al efectuar el riego (fig. 9).

III.3.- Relación de pluviometria media horaria en un aspersor con su pluviometria instantánea.

Hemos visto al describir los aspersores que éstos se clasificaban en aspersores de giro lento y rápido así como, dentro de estos últimos, había algunos en los cuales podía regularse la velocidad de giro.

Al dar la pluviometria media horaria del aspersor no se tiene en cuenta esta velocidad de giro, siendo de importancia bajo el punto de vista pedológico del riego por aspersión, ya que, al aumentar la velocidad de giro para una misma permeabilidad media horaria, disminuye la pluviometria en cada instante de observación y, por tanto, los daños de encharcamiento y compactación excesiva del terreno por choque del agua con él.

FIGURA 9

RIEGO POR ASPERSION PARA CONDICIONES MEDIAS DE SUELO, PENDIENTES

(Engineering Handbook, Soil Conservation Service).

CANTIDAD MAXIMO DE AGUA -- MILIMETROS POR HORA				
PENDIENTE 5-8 %	PENDIENTE 8-12 %		MAS DEL 12 %	
DESNUDO	CON VEGETACION	DESNUDO	CON VEGETACION	DESNUDO
38,1	38,1	25,4	25,4	12,7
	25,4	19,0	19,0	10,2
	25,4	15,2	19,0	10,2
		10,2	12,7	7,6
		7,6	10,2	5,1
			7,6	2,5
				1,5

Es dato por tanto necesario, al definir un aspersor, su velocidad de giro o número de vueltas por hora, para tener con él, y la pluviometría media horaria en mm/hora, la pluviometría instantánea.

Pluviometría instantánea de riego en un aspersor. - Se define como la altura de agua en mm. que cae sobre el terreno en cada vuelta del aspersor.

Valor que se designa en estas instrucciones por I_1 y que es:

$$I_1 = \frac{I_h}{n} \text{ mm.}$$

Siendo:

I_h = pluviometría media horaria en mm/hora.

n = número de vueltas por hora.

Este dato demuestra que, al aumentar el número de vueltas por hora en los aspersores de giro lento o baja presión, se proporciona, no sólo menor pluviometría media horaria sino instantánea, con lo cual, a medida que el terreno tiene menor permeabilidad y los cultivos son más delicados a las lluvias fuertes, ganan en eficacia de empleo los sistemas de aspersión de baja presión. Estos permiten mayores pluviometrías medias horarias sin temor a encharcamientos.

En el cálculo de la pluviometría instantánea, cuando se trata de aspersores con dos boquillas, sólo se tendrá en cuenta el caudal horario que arroja la boquilla de mayor diámetro, que es el que normalmente figura en los catálogos de aspersores.

Este factor I_1 es aun de mayor importancia si se tiene en cuenta el decrecimiento de la permeabilidad del terreno con el tiempo de riego, según la hipótesis de Passerini y Giudici del Instituto para el Estudio del Suelo en Florencia, confirmada experimentalmente por Browning, Musgrave y Lewis; se cumple:

$$I = at^n$$

Siendo:

I = mm. de agua que pasa a través de un terreno en el tiempo t ;

a varía de 0,0087 a $\frac{1}{2}$ y

n de 0,04 a 0,82 según se pasa de terrenos muy arcillosos a arenosos y gravosos.

Asimismo, la menor longitud de alcance en aspersor de baja presión disminuye el impacto del agua sobre el terreno y, por tanto, la compactación de este que, de producirse, haría descender sus propiedades físicas óptimas.

Son por tanto datos característicos de un aspersor, al definirlo, - -

su pluviometría media horaria e instantánea. Las dos juntas pueden definirse - como índice pedológico como sigue:

$$I_p = \frac{1}{I_h \times I_i} = \frac{1}{I_h \times \frac{I_h}{n}} = \frac{n}{I_h^2}$$

Siendo:

I_p = Índice pedológico

I_h = Pluviometría media horaria en mm.

I_i = Pluviometría instantánea en mm.

De esta forma el índice pedológico de un aspersor I_p aumenta con n = número de vueltas del aspersor, y disminuye con el cuadrado de la pluviometría media horaria.

Los aspersores de velocidad de giro de 1 vuelta por minuto, si el índice pedológico es superior a 1, son de empleo en terrenos arcillosos de baja permeabilidad; si es menor que 1 en suelos sueltos, correspondiendo permeabilidades altas a índices pedológicos cada vez menores.

III.4.- Grado de uniformidad en la distribución y pulverización del agua en un aspersor.

La uniformidad en la distribución del agua por un aspersor a lo largo del chorro, así como la pulverización que proporciona (o tamaño de gota), son de suma importancia para lograr en el empleo del riego por aspersión mínimos en charcamientos y pérdidas de agua, así como menores perjuicios, por efecto de la compactación, en las propiedades físicas óptimas que un suelo debe poseer para el cultivo.

La importancia del grado de uniformidad en la altura de agua que un aspersor proporciona a lo largo del chorro fué descubierta por Christiansen, en los ensayos por él realizados a este fin en California. Importancia que está unida a la gran variabilidad que puede presentar la curva pluviométrica de un aspersor a lo largo del chorro con arreglo a la dirección del viento e intensidad de este durante el riego.

Influye la distribución del agua por el aspersor a lo largo del chorro en la velocidad de rotación que se dará al aspersor (especialmente cuando éste es de reacción o choque) y en el número de interrupciones que el chorro experi-

menta para regar las zonas próximas; asimismo en la altura óptima del aspersor sobre el terreno.

Al grado de uniformidad se une el de pulverización, que presenta, en general, un gran paralelismo con el primero, lo que no quiere decir que éste - paralelismo siempre exista. En efecto, podemos encontrarnos con un aspersor que proporcione un buen grado de distribución del agua a lo largo del chorro con un grado deficiente de pulverización y, por tanto, con tamaño de gota no apropiado a la textura del terreno lo que puede producir daños en éste por compactación.

Para el grado de distribución de un aspersor, en tanto por ciento, adoptamos la fórmula de Christiansen que es como sigue:

$$\text{Uniformidad en distribución} = V = 100 \left(1 - \frac{\sum d}{M \times n} \right)$$

siendo $\sum d$ la suma de las n desviaciones de altura de agua caída sobre el terreno (en el riego de ensayo del aspersor en funcionamiento, obtenida con n pluviómetros) sobre el valor medio de altura de agua en ellos M .

Deben figurar en el catálogo el grado de uniformidad del aspersor con distintas separaciones entre ellos para unas condiciones de presión, caudal y boquilla determinadas, aparte de la curva de distribución del agua a lo largo del chorro aisladamente.

El empleo de la fórmula dada anteriormente es el siguiente:

Cuando el grado de uniformidad en la distribución del agua por un aspersor a lo largo del chorro oscila del 80 a 100% se considera admisible. Para porcentajes inferiores al 80% se producen irregularidades en el riego, que dañan la producción.

El grado de uniformidad anterior se mantiene en el riego con vientos de velocidad no superior a 2,5 m/seg. (9 Km/hora).

Cuando la velocidad del viento oscila de 2,5 m/seg. a 5m/seg. puede descender el porcentaje de uniformidad de un 10 a un 20%, lo que puede corregirse disminuyendo la separación entre aspersores (aumentándose como es lógico la pluviometría horaria). Esta corrección debe estudiarse con cuidado en terrenos arcillosos, de baja permeabilidad, para evitar encharcamientos.

Es factor que influye en el grado de uniformidad en la distribución del agua a lo largo del chorro, la altura del aspersor sobre el terreno. Se recomienda que esta altura no sobrepasa de 1 m., cifra que podrá elevarse, cuando el porte del cultivo lo imponga, para evitar choques del chorro con las partes aéreas,-

con perjuicio de la uniformidad de distribución y daños al mismo cultivo.

En el riego por aspersión existe siempre una diferencia de presión - entre el aspersor primero, situado a la entrada de la tubería de conducción, y el último, cuando se riega con varios aspersores; también entre las mismas posiciones extremas cuando se riega con un solo aspersor. Al influir la presión en el grado de uniformidad, se dá como límite de variación máximo de ésta el - 20% de la presión de trabajo.

Asimismo, modifica el grado de uniformidad en la distribución del -- agua sobre el terreno la disposición o emplazamiento que se adopte para los aspersores, lo que detallaremos en el próximo apartado.

El grado de pulverización del agua por un aspersor es factor de importancia en el riego por aspersión, ya que puede producir daños, si no es el adecuado al cultivo o condiciones físicas del terreno: al primero por choque y al segundo por compactación.

Se ha indicado, al principio de este apartado, el paralelismo que exista entre el grado de uniformidad en la distribución del agua y la pulverización, pero, no obstante, al no ser general este principio, vamos a definir el grado - de pulverización independientemente:

El grado de pulverización de un aspersor es inversamente proporcional al índice de potencia del mismo⁽¹⁾. La variación del Índice de Rendimiento en - el riego, fué publicada en la Revista del Centro Internacional para el estudio - del riego por aspersión de Verona (Italia), en su número 1 de 1.956.

Los alemanes Olher y Zunner demostraron asimismo en 1.928 que, cuando el índice de potencia de un aspersor aumenta, disminuye el de pulverización.

Adoptamos en estas instrucciones como grado de pulverización el de Tenda, investigador italiano. Este índice es $K = \frac{d}{H}$ siendo d diámetro de la boquilla del aspersor en mm. y H presión de trabajo del aspersor en boquilla, en m.

Si $K > 0,5$ tenemos gotas excesivamente gruesas: aspersores de empleo - en pastos y suelos arenosos ligeros.

Si K oscila entre 0,3 y 0,5 gotas de tamaño medio: aspersores de empleo en árboles frutales y cultivos herbáceos normales; suelos de consistencia - media tirando a fuertes.

(1)

Dicho índice viene determinado por la relación del radio de alcance en - mts. a la presión en boquilla en mts.

Si K oscila de 0,1 a 0,3 gotas muy finas: aspersores de empleo en -
cultivos muy delicados, floricultura, nascencia de semillas delicadas, tabaco,
algodón, horticultura, etc; asimismo, en suslos de consistencia fuerte o arcic-
llosos.

IV - DATOS QUE DEFINEN LA UNIDAD DE RIEGO POR ASPERSION Y SISTEMAS DE TENDIDO

43

IV.1.- Determinación de las unidades de riego por aspersión.

Comenzamos en este apartado el Estudio propio de un Proyecto de riego por aspersión, el cual se apoya en lo expuesto en los apartados anteriores, cuyos datos nos permiten determinar el aspersor adecuado a las condiciones del terreno y cultivo, escogiendo las características del mismo que se han de emplear en el Proyecto y que son las siguientes:

- 1ª) - Presión de trabajo en boquilla en Kg/cm^2 , atmósferas o mts. de altura manométrica.
- 2ª) - Pluviometría media horaria que proporciona el aspersor en mm/hora.
- 3ª) - Radio de alcance del aspersor en mts.
- 4ª) - Caudal que arroja el aspersor en m^3/hora , o litros por minuto, ó litros por segundo.
- 5ª) - Pérdida de carga admisible entre los dos aspersores extremos de una línea de riego.

Como complemento de los datos expuestos, para lograr la mayor eficiencia en el grado de uniformidad de la distribución del agua al terreno, se precisa conocer la distancia de los aspersores entre sí y la separación de las líneas que soportan éstos, es decir, el sistema que debe adoptarse para disponer los aspersores sobre el terreno. Por ello, en el epígrafe siguiente, se dan las -

disposiciones normales de tendido en el riego por aspersión y la forma de determinarlas.

IV.2.- Sistemas de implantación de los aspersores sobre el terreno.

Existen en el riego por aspersión dos disposiciones normales para la instalación de los aspersores en el terreno. Estas disposiciones son:

- a) - Disposición en rectángulo
- b) - Disposición en triángulo

El empleo o disposición sobre el terreno de los tendidos anteriores es el siguiente:

Disposición	Presión en boquilla	Distancia entre aspersores	Distancia entre líneas
Disposición en rectángulo.	Para aspersores con presión de trabajo en boquillas $< 2,5 \text{ Kg/cm}^2$..	1,41.R	1,41.R
	Para aspersores con presión de trabajo en boquillas $> 2,5 \text{ Kg/cm}^2$ exclusivamente	R	1,2.R
Disposición en Triángulo.-	Para aspersores con presión de trabajo en boquillas $> 2,5 \text{ Kg/cm}^2$ exclusivamente	1,73.R	1,5.R

(Siendo R el radio de alcance del aspersor)

Con las disposiciones anteriores se tienen las siguientes superficies útiles regadas:

Disposición en cuadrado: 63,3% de la cubierta por el radio del aspersor.

Disposición en triángulo: 82,6% de la cubierta por el radio del aspersor.

Los coeficientes dados anteriormente de superficie útil regada que cubre cada aspersor sirven para pasar con el dato de la pluviometría media horaria del aspersor a la del conjunto de éstos.

Las separaciones anteriores son las máximas para lograr la mayor uniformidad posible en el riego, pero no cabe duda que si los recubrimientos de -

chorros, son totales, la uniformidad en la distribución del agua será, asimismo, casi total; no obstante, se desecha el solape total de chorros ya que exige un número excesivo de desplazamientos del aspersor así como aumento, también excesivo a veces, de acuerdo con las condiciones del terreno, de la pluviometría media horaria.

Como aclaración de la descripción anterior se dá el croquis de las disposiciones citadas (Fig. 10)

Complemento de las normas anteriores, y para los casos de que el Ingeniero Proyectista quiera lograr una separación máxima con el mayor grado de uniformidad en la distribución del agua, superior al 80%, se exponen en estas instrucciones los estudios realizados a este fin por Christiansen (Irrigation by sprinkling, nº 670, Universidad de California).

Siendo base para la elección de un aspersor su curva pluviométrica se dan, en el Gráfico que se une a estas instrucciones (Fig. 11), los tipos de curvas normales en la distribución pluviométrica de un aspersor, según su tipo (curvas que son señaladas con las letras A, B, C, D, E).

De estas curvas las del tipo A, B y C son las normales en aspersores de dos boquillas y presión menor de 2,5 Kg/cm².

En cambio las curvas del tipo E y D son las normales en aspersores de una sola boquilla y de presión alta o baja, es decir mayor o menor de 2,5 Kg/cm².

Se dan asimismo, en el Gráfico de la Fig. 11, las variaciones pluviométricas con arreglo a separaciones de aspersores y tipo de éste. En este Gráfico, y en el eje de abscisas, se da el tanto por ciento de recubrimiento del radio del aspersor y, en ordenadas, para el porcentaje anterior, el coeficiente de uniformidad en el riego que se alcanza, en %.

El examen del Gráfico muestra que en aspersores con curvas del tipo A, B ó C, de baja presión, con separación entre 50 a 70% del radio de alcance, tenemos uniformidad máxima y, en cambio, con un aspersor de curva tipo D ó E, esta separación tiene que ser del 75 al 85%. En la práctica la uniformidad alcanzada con las separaciones anteriores entre líneas de aspersores se mantiene, tanto en disposición en cuadrado como en triángulo, con separación idéntica entre aspersores.

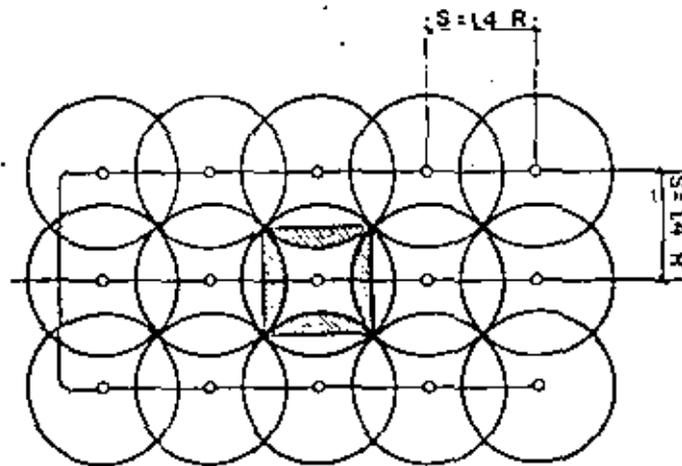
El uso del Gráfico, como orientación, es el siguiente: tenemos un aspersor de curva pluviométrica tipo A ó B en disposición en triángulo, con un radio de alcance 18 m.

Según el Gráfico la separación media óptima es 55% del radio, es decir 9,9 m; la separación 12 x 12 m. es aceptable.

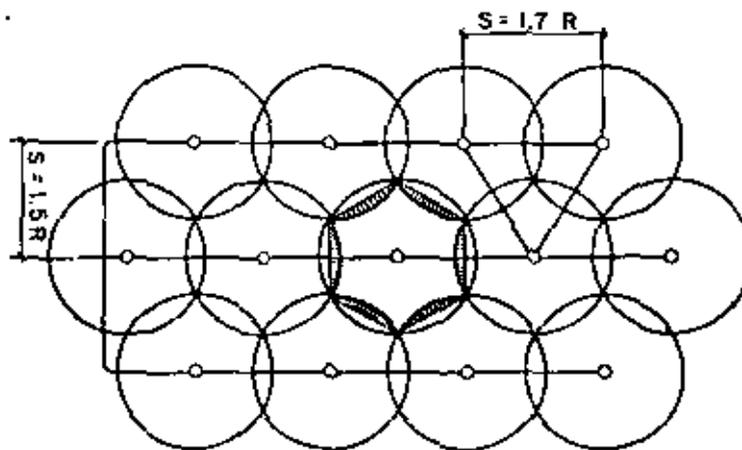
ASPERSORES DE PRESION

EN BOQUILLA > 2,5 Kg/cm²

DISPOSICION EN CUADRADO



DISPOSICION EN TRIANGULO



EN BOQUILLA < 2,5 Kg/cm²

DISPOSICION EN RECTANGULO

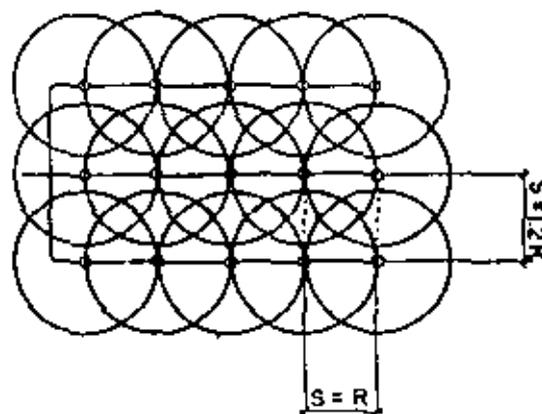
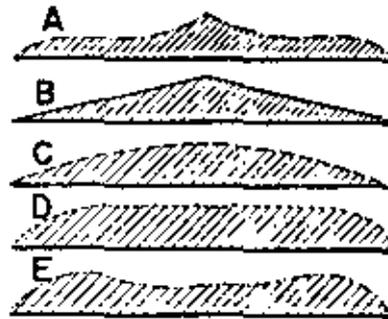


FIGURA 10

FORMA DE CURVAS PLUVIOMETRICAS EN ASPERSORES



GRUPO DE CHRISTIANSEN SOBRE COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD SEGUN SEPARACION EN DIVERSOS TIPOS DE ASPERSORES

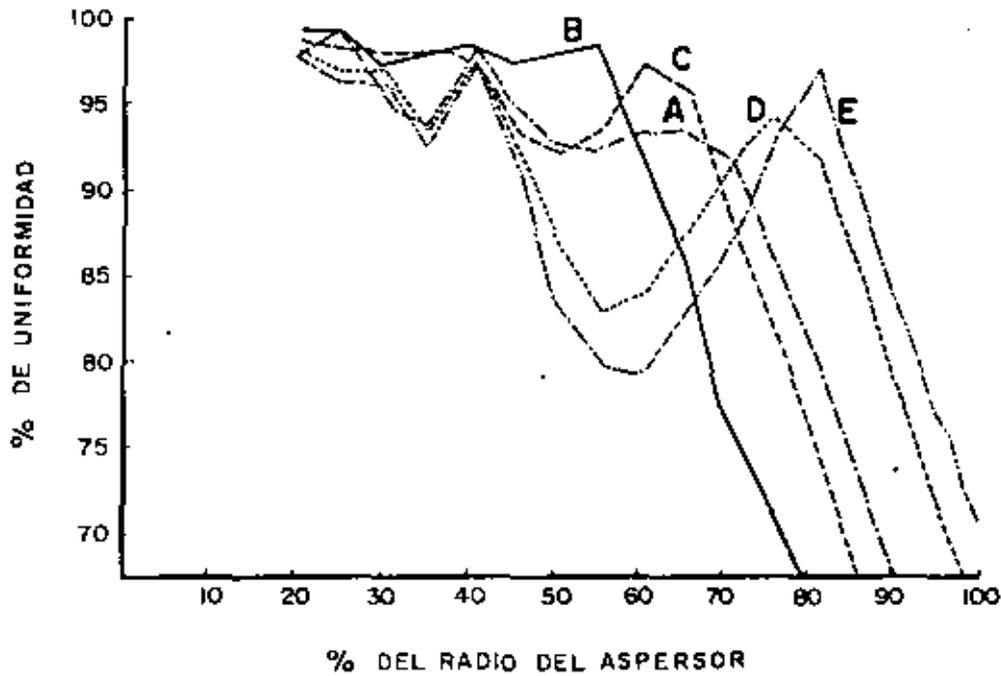


FIGURA II

En la práctica la norma es tomar en este tipo de aspersores 0,33 R a 0,4 R como separación entre aspersores y 0,66 R entre líneas de aspersores. Es decir para el caso anterior 5,94 a 7,20 m. entre aspersores y 11,88 entre líneas; como los tubos son normalmente de 6 m. de longitud, la disposición es 6 x 12 mts.

IV.3.- Normas prácticas sobre las características que debe poseer un aspersor en relación con el riego.

No obstante haber indicado en epígrafes anteriores III.1, III.3, - - III.4, los factores que caracterizan un aspersor (diámetro en boquilla, presión de trabajo en ésta y su relación con el índice de potencia del mismo, y grado de pulverización) daremos en este epígrafe, como datos de orientación y confronte para el Ingeniero Proyectista al elegir un aspersor a la vista de las características que figuran para él en el catálogo, dos gráficos que se dan en las - figuras 12 y 13, siendo su utilización la siguiente:

El primero sirve para, con el diámetro de la boquilla en mm. y presión de trabajo de ésta en Kg/cm², determinar el índice de potencia y el radio aproximado de alcance del aspersor.

Su manejo es el siguiente: tomando en abcisas la presión en Kg/cm². y en ordenadas el ϕ de la boquilla en mm, tenemos un índice de potencia; este índice esta entre dos curvas que dan el radio del aspersor en mts y, por interpolación, tenemos el radio óptimo que debe poseer el aspersor.

Si, por el contrario, deseamos un radio de alcance, lo situamos en la curva correspondiente y tendremos a lo largo de ella una serie de puntos que nos proporcionan para cada uno, en abcisas, presión Kg/cm². y, en ordenadas, ϕ en mm. de la boquilla.

El segundo gráfico sirve para contrastar, conociendo la presión de trabajo en boquilla del aspersor en Kg/cm². y diámetro de ésta en mm., el caudal del aspersor en l/seg. y, al mismo tiempo, si el aspersor es de presión baja, media o alta, como, asimismo, la clase de lluvia que proporcionará.

Asimismo, conociendo la clase de lluvia y presión de trabajo que deseamos, tenemos una serie de caudales en l/s. dentro del recuadro y, para ellos, las presiones de trabajo en boquilla y ϕ de ésta que debe poseer el aspersor (debiendo elegir entre estas boquillas aquellas que concuerdan con las de empleo normal en aspersores comerciales).

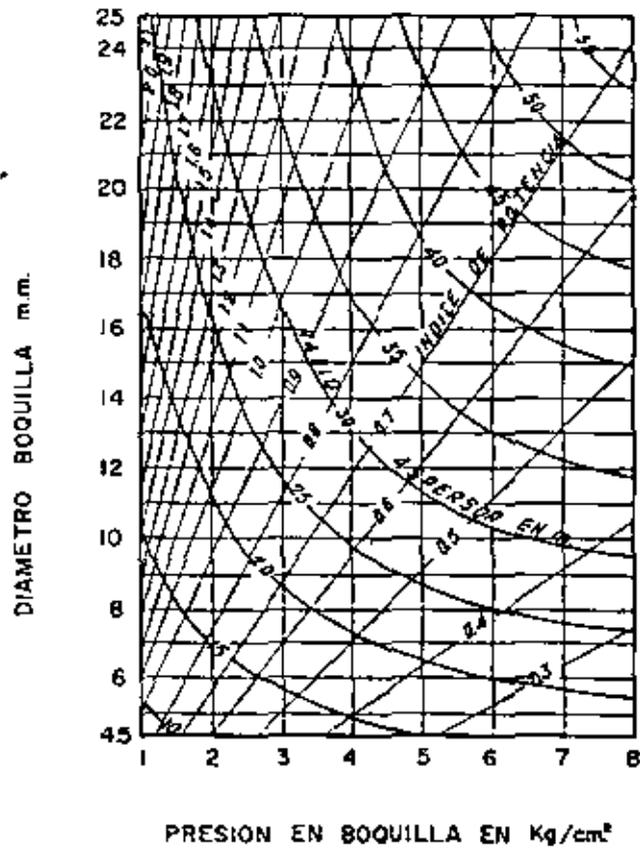
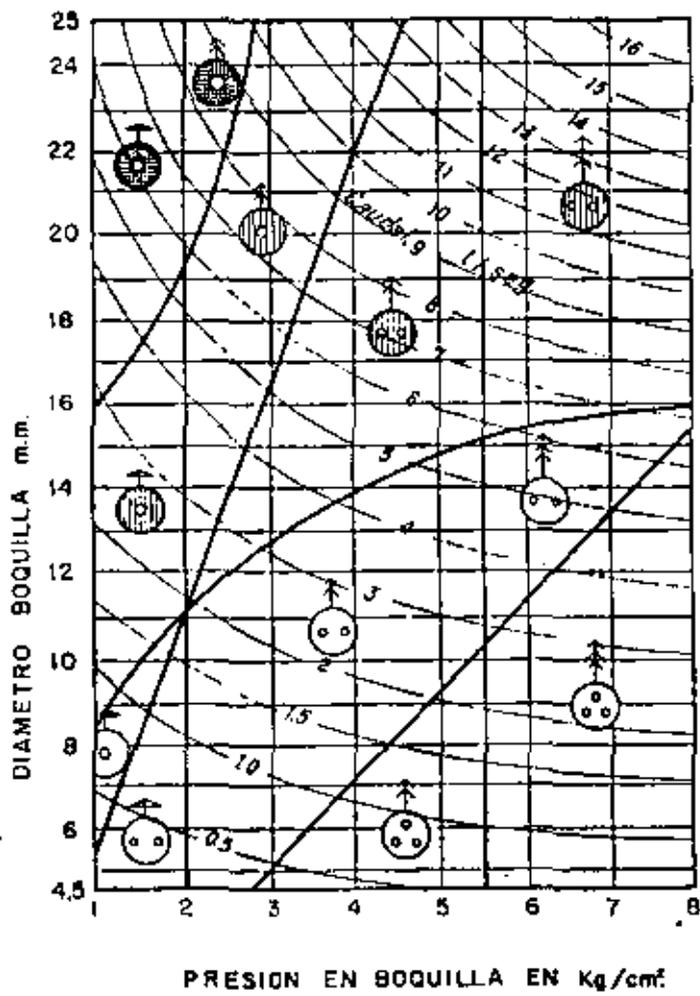


FIGURA 12



- ↑ PRESION BAJA
- ↑↑ " MEDIA
- ↑↑↑ " ALTA
- LLOVIA FUERTE
- MODERADA
- " LENTA
- " GRUESA
- " MEDIA
- " FINA

FIGURA 13

V - COMPUTO DEL CAUDAL NECESARIO EN UN PROYECTO DE RIEGO POR ASPERSION Y TIEMPO
QUE SE PRECISA EN UN RIEGO

El primer dato que se necesita en todo Proyecto de Riego, en general, es el de las necesidades de agua para atender los cultivos a implantar en el mes de máximo consumo.

Estas necesidades deben figurar en el Informe Agronómico previo al Proyecto, anotadas en m³/Ha. y mes. De estos consumos se toma, para el cálculo del caudal necesario, el correspondiente al mes de mayor necesidad A.

El dato anterior se dá normalmente en m³/Ha; se pasa a mm. sabiendo — que un mm. equivale a 10 m³/Ha.; luego $\frac{A}{10}$ son los mm. de agua necesarios en el mes de máximo consumo.

En el Informe Agronómico debe figurar la capacidad de campo del terreno. Esta indica el peso de agua, expresado en % de terreno seco, que éste puede retener sin pérdidas; de ella se determina la dosis máxima de riego por unidad de profundidad, es decir, el volumen que el terreno puede recibir reteniéndolo — totalmente D, que se expresa en m³/Ha. por lo que $\frac{D}{10}$ vendrá dado en mm.

Se toma como dosis de riego real para el cálculo al 75% de la anterior $\frac{75 \times D}{1000} = D'$ en mm.

Ello se hace simplemente porque no conviene llegar nunca a un agotamiento total de la humedad útil del terreno, norma que se adopta asimismo con el fin de que las anomalías que puedan producirse en la instalación queden cubiertas por poderse ampliar en caso extremo el horario de riego, al existir margen —

para este fin, sin perjuicio de cubrir el turno máximo o periodo entre dos riegos que realmente precisa el cultivo.

El número de riegos necesarios por mes con la dosis anterior será:

$$\frac{\frac{A}{10}}{D'} = \frac{A}{10D'} = n \quad (1).$$

Ahora, conociendo los siguientes datos para la localidad donde se ha de realizar el Proyecto:

1º.- Número de días por mes que puede regarse = B días.

2º.- Número de horas útiles por día que puede regarse = C horas. Tendremos las horas totales de riego al mes = B x C horas (2).

Dividiendo (2) por (1) tenemos las horas que puede durar un riego, o tiempo de duración de éste:

$$\text{Tiempo T en horas} = \frac{B \times C}{\frac{A}{10}} \quad (3).$$

El caudal de riego necesario en m³/hora, ó l/seg., es:

$$\begin{aligned} Q \text{ (en m}^3\text{/hora)} &= \frac{D' \times 10}{T} \text{ en m}^3\text{/hora} \\ Q \text{ (en l/seg.)} &= \frac{D' \times 10,000}{T \times 3,600} \text{ en l/seg.} \end{aligned} \quad (3)$$

V.1.- Coefficiente de rendimiento en el riego por aspersión.

Es indudable que en todo sistema de riego, y por tanto en el riego por aspersión, existe un factor de rendimiento en la aplicación del agua al terreno, que denominaremos rendimiento en el riego. Definimos el rendimiento citado como la relación entre los volúmenes de agua que el terreno admite, D' del epígrafe anterior, y el volumen de agua real D_1 que habrá que suministrar con el riego para que el terreno alcance el volumen o dosis anterior. Desde luego $D_1 > D'$ siempre; en un caso perfecto, que no existe en la práctica, sería $D_1 = D'$.

La razón del aumento de D_1 sobre D' radica en las pérdidas de agua por evaporación en boquilla y en la falta de uniformidad en la distribución del agua por el aspersor:

1º) - Pérdidas por evaporación, debida a factores climáticos: grado higrométrico del ambiente, velocidad del viento, temperatura, etc.

Para el cálculo de estas pérdidas (difícil al influir en ellas pluviometría horaria e instantánea, pulverización del chorro y altura de este sobre el terreno, etc.) se da el gráfico de la Fig. 14, que nos proporciona, con arreglo al porcentaje de humedad media en el mes considerado y diámetro de boquilla, el porcentaje de pérdidas. En ese gráfico se tiene asimismo en cuenta la velocidad del viento y la presión de trabajo en boquilla. Su manejo es el siguiente:

Nos dan diámetro de la boquilla en mm., presión de trabajo precisa en ella en Kg/cm², la velocidad del viento que actúa en la zona de riego en Km/hora, % de humedad del aire y temperatura °C.

Se busca el dato de % de humedad del aire en la curva; a continuación, el dato de la temperatura en su línea correspondiente. Se unen con una recta estos dos puntos hasta su encuentro con la línea de tensión de vapor en Kg/cm².

Se une el punto anterior con el correspondiente al diámetro de boquilla del aspersor, señalado en la línea "diámetro de la boquilla en mm."; el punto donde esta línea de unión corte a la línea de referencia superior es base.

Se une el punto de la presión necesaria en boquilla del aspersor, señalada en la línea "presión en boquilla en Kg/cm²", con el de la velocidad del viento, señalada en la línea "velocidad del viento en Km/hora"; el punto de corte de la línea que une estos puntos con la línea de referencia es asimismo base con el anterior.

Se une el punto antes señalado base, con el obtenido ahora y al corte de esta línea con la de "porcentaje de pérdida por evaporación" nos proporciona las pérdidas que buscamos.

Sea la suma de estas pérdidas a %.

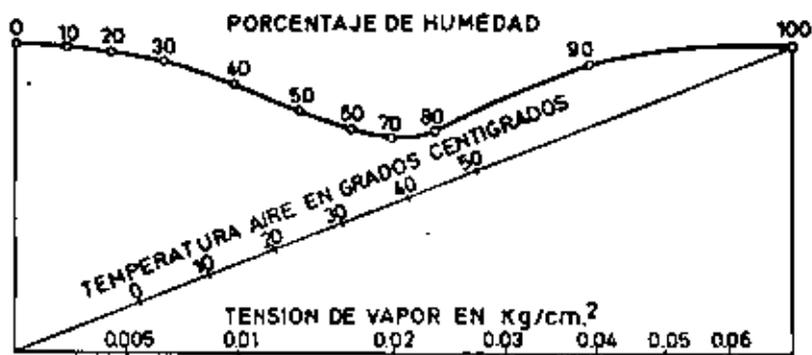
2º) - Pérdidas con arreglo al coeficiente de uniformidad del riego.

Se describió en el epígrafe III.4 este coeficiente, así como en el epígrafe IV.3 las normas según Christiansen para determinar, con arreglo al tipo de aspersor y separación óptima que éste admite, el porcentaje o coeficiente aproximado de uniformidad.

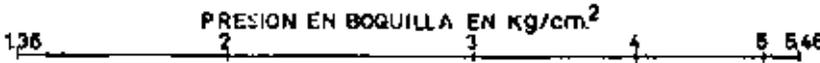
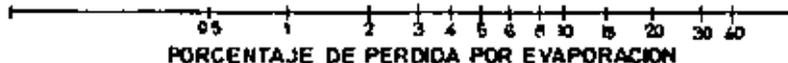
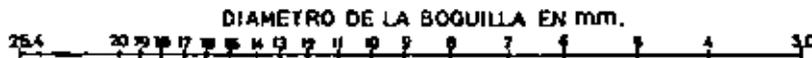
Vimos en el epígrafe III.4 que el coeficiente de uniformidad es $U = 100 \left(1 - \frac{M_d}{N \times n}\right)$. Para hacer intervenir en el cómputo de las pérdidas en el riego el factor de uniformidad, solo se tienen en cuenta las desviaciones positivas x , respecto a la media M ; El coeficiente de eficacia del riego, según Christiansen, es - - $b\% = 50 + \frac{U}{2}$.

Sea por ejemplo $U =$ coeficiente de uniformidad = 80%; el coeficiente de eficacia en el riego será $50 + \frac{80}{2} = 90\%$, es decir, 0,9.

ESCALA PARA DETERMINAR PERDIDAS POR EVAPORACION



LINEA DE REFERENCIA



LINEA DE REFERENCIA



FIGURA 14

La forma de aplicar las pérdidas anteriores es la siguiente:

Dosis de riego que admite el terreno $D \text{ m}^3/\text{Ha.}$ ó $\frac{D}{10} \text{ mm.}$

Como según (1ª) hay $a \%$ de pérdidas por evaporación, la dosis precisa será:

$$\frac{D \times 100}{100 - a} \text{ en m}^3/\text{Ha.} \text{ ó } \frac{D \times 10}{100 - a} \text{ mm.}$$

Por (2) nos encontramos que, al tener en cuenta el coeficiente de eficacia $b\%$, la dosis de riego se transforma en:

$$\frac{\frac{D \times 100}{100 - a}}{\frac{b}{100}} = \frac{D \times 10,000}{b(100 - a)} \text{ m}^3/\text{Ha.}$$

Dosis que es la que se utiliza en el Proyecto.

VI - UTILIZACION Y RESUMEN DE LOS DATOS SOBRE CARACTERISTICAS DEL ASPERSION, SISTEMA DE TENDIDO Y CAUDAL NECESARIO, EN LA REDACCION DEL PROYECTO DE RIEGO -
POR ASPERSION

Lo expuesto hasta ahora se ha redactado para que el Ingeniero Proyectista conozca los datos que precisará en su trabajo y la importancia de los mismos para la efectividad del proyecto, dejándose por tanto a su juicio la recopilación y estudio de los datos base mencionados para iniciar la redacción del mismo. No obstante, para facilitar la recopilación y estudio de los datos precisos, se da el resumen siguiente:

1) - Según lo expuesto en el epígrafe V, el primer paso es determinar la dosis máxima de agua por Ha. que puede recibir el terreno por riego: D en m³/Ha. ó en mm. $\frac{D}{10}$.

Con el fin de cubrir anomalías de funcionamiento se toma el 75% de la dosis de riego anterior: D' = $\frac{75 \times D}{100}$ en m³/Ha. ó $\frac{75 \times D}{1000}$, en mm.

2) - Contando con las necesidades de agua en el mes de máximo consumo, A - - m³/Ha., ó $\frac{A}{10}$ mm., con la dosis de riego anterior D' m³/Ha., ó $\frac{D'}{10}$ mm., se calcula el número de riegos en el mes considerado:

$$\frac{A}{D'} = \frac{\frac{A}{10}}{\frac{D'}{10}} = n$$

3) - Considerando que, en el mes estudiado como de máximo consumo, sólo puede regarse durante B días y C horas cada día, la duración de un riego con la do-

sia anterior será:

$$T \text{ Horas} = \frac{B \times C}{n}$$

4) - Con arreglo a tipo de cultivos, permeabilidad del terreno y otras condiciones físicas que influyen en el riego, determinamos el tipo de aspersor a utilizar, así como las características convenientes entre las descritas en los epígrafes III.1, III.2, III.3, III.4, IV.3 :

Presión en boquilla en Kg/cm².

Caudal que arroja el aspersor en m³/hora, l.p.m. ó l.p.s.

Pluviometría media horaria en mm/hora.

5) - A la vista de las características del aspersor y de la pluviometría -- que admite el terreno en mm/hora (para la que, caso de no disponerse de este dato, pueden utilizarse los que figuren como orientación en los epígrafes III.2, - IV.2, IV.3) se determinan los datos que se refieren a disposición de tendido que se adoptará:

L = separación entre regadores.

L' = separación entre líneas de regadores.

I_h = pluviometría media horaria que proporciona el tendido.

S = Superficie en m² que cubre cada aspersor con la disposición adoptada.

6) - Se procede a realizar la corrección de la dosis de riego precisa D', - calculada en (1), con arreglo a pérdidas de evaporación en boquilla y coeficiente de eficacia por uniformidad detalladas en el epígrafe V.1:

Siendo a % de pérdidas por condiciones climáticas y b % por uniformidad, la dotación precisa será:

$$\frac{D' \times 10.000}{b(100 - a)} \text{ en m}^3/\text{Ha.} \quad \delta \quad \frac{D' \times 1.000}{b(100 - a)} \text{ en mm.}$$

7) - Con la dosis de riego anterior corregida y la duración T horas de cada riego calculada en el apartado (3):

$$\frac{\frac{D' \times 10.000}{b(100 - a)}}{T} = \text{m}^3/\text{hora} \times \text{Ha.} \quad \delta \quad \frac{\frac{D' \times 10.000}{b(100 - a)}}{T \times 3.600} \times 1000 = \text{l}/\text{seg} \times \text{Ha}$$

Tenemos el caudal unitario preciso.

VI.1.- Caudal total necesario en el Proyecto y número de regadores.

Al estudiar el Proyecto se conoce la superficie S_1 en Has. totales que éste cubre.

Con esta superficie S_1 y el caudal unitario por Ha., calculado en el apartado (7) del epígrafe anterior VI, se tiene el caudal necesario en l/s. que ha de proporcionarse con el riego multiplicando ambos:

$$\frac{\frac{D' \times 10.000}{b (100 - a)}}{T \times 3.600} \times 1.000 \times S_1 = l/s.$$

Conocemos por el aspersor elegido su caudal unitario en l/seg.; siendo este caudal q , tendremos:

$$\frac{\frac{D' \times 10.000}{b (100 - a)}}{T \times 3.600} \times 1.000 \times S_1 = \underset{q}{\text{número de aspersores.}}$$

VII - CONFECCION DE LOS TENDIDOS DE RIEGO 61

Entramos con este apartado en el trabajo que podríamos llamar específico para la redacción de un Proyecto de Riego por Aspersión. Es a partir de este momento cuando comienza a surgir, como primer dato base para redactarlo, un plano taquimétrico de la superficie que ha de regarse. En él deben de figurar los trazados de las redes de conducción existentes, si estas hubieran sido construídas anteriormente, o, en caso de no ser así, el emplazamiento del punto o puntos de captación del agua necesaria para el Proyecto de Riego a realizar.

Podemos denominar esta parte de las instrucciones confección de los tendidos de riego pues se basa, por una parte, en el estudio de la unidad móvil de riego por aspersión precisa, (longitudes de tubería de aspersores máxima y de tubería abastecedora, o madre de la anterior, elección del aspersor y disposición, entre sí, de los que han de componerla unidad de riego mencionada) y, por otra, en la adaptación de la unidad anterior a los sistemas de conducción de agua existentes o que hayan de proyectarse, de acuerdo con el emplazamiento de los puntos de toma.

Dos casos se presentan normalmente en la redacción de un Proyecto de Riego por Aspersión:

- 1º) - Que existan redes de conducción de agua ya construídas.
- 2º) - Que sólo se conozca el punto, ó puntos, para la captación del agua necesario y, por tanto, sea preciso proyectar las redes generales de conducción que exige el Proyecto de Riego por Aspersión a redactar.

Para ambos casos es común la necesidad de calcular previamente la undad de riego por aspersión necesaria y, a continuación, proceder al estudio de su adaptación a las redes de conducción generales, si existen, o proyectar éstas y trazarlas acordes con la unidad de riego calculada.

Con el criterio anterior se desenvuelven en estas instrucciones, los - epígrafes siguientes:

VII.1.- Cálculo de la unidad de riego precisa.

Según lo expuesto en el epígrafe VI.1, bastaría con el conocimiento -- del número total de aspersores que allí se obtenían, para considerar ya calculada la unidad de riego. Este dato, con el de la separación óptima entre aspersores dentro de la línea y de las líneas entre sí (ya obtenidos en el apartado 5 - del epígrafe VI), podría definir una unidad parcelaria de riego con una longitud total dada por el producto del número de aspersores por su separación en mts., - y cuya superficie sería el producto de la longitud anterior por la separación -- entre líneas de aspersores; sin embargo, la realidad en la práctica es que no se puede considerar aceptable el criterio anterior, por las razones siguientes:

a) - La presión de trabajo de cada aspersor, para que no pierda las características de uniformidad y pulverización óptimas (según se indicó en el epígrafe - III.4) tiene que diferir en + ó en - como máximo un 20% de la presión de trabajo. Hay pues una diferencia máxima admisible entre la presión de trabajo del aspersor de cabeza al de cola y esta condición obliga a utilizar diámetros de tuberías mayores a medida que la longitud de la línea de aspersores aumenta. Pero este aumento en el diámetro de la tubería a emplear tiene un límite, señalado, en primer lugar, por una fácil manipulación del tubo y, en segundo, por los diámetros comerciales corrientes en el mercado. (para que no sea excesivo y antieconómico el coste del m.l. de este tipo de tubería).

El diámetro comercial límite es de 6" en países con una gama amplia de fabricación en tuberías para aspersión y de 4" en nuestra Patria.

b) - La segunda razón radica en que los accidentes topográficos del terreno, así como los trazados de las redes de conducción existentes (o aquellas que hayan de proyectarse para este fin), pueden obligar a disminuir esa máxima longitud de la línea de aspersores que respeta los límites de presión de trabajo señalados en el apartado anterior.

Las razones anteriores obligan a que la longitud de las líneas se mantenga

ga bajo ciertos límites, pudiendo ocurrir que el número total de aspersores a emplear no sea múltiplo exacto del número de aspersores de una línea. Se recurre entonces a reajustar los aspersores precisos incrementando su número, o disminuyéndolo, tras hacer nuevos ajustes de las horas precisas de riego y del caudal unitario necesario en l/seg. x Ha.

Por otra parte, las irregularidades que pueden presentar zonas determinadas del terreno obligan a tendidos de tubería no regulares que, a su vez, se traducen en no poder instalar la totalidad de los aspersores necesarios en algunas de las posiciones. Este hecho conduce a perder continuidad en la distribución del caudal total necesario y a desfasar los turnos de riego. Quidamos obligados, como en el caso anterior, a un ajuste de la unidad de riego obtenida, antes de darla como definitiva.

Con las premisas anteriores tenemos que realizar el cálculo siguiente para la unidad de riego por aspersión a establecer:

a) Datos previos (según los apartados (4) y (5) del epígrafe VI):

Disposición del tendido $\left\{ \begin{array}{l} \text{Cuadrado.} \\ \text{Triángulo.} \end{array} \right.$

Separación entre aspersores dentro de la línea l mts.
 " " líneas de aspersores l' mts.

$\frac{I_h}{n}$ = pluviometría media horaria.

$\frac{I_h}{S}$ = Superficie en m^2 que cubre cada aspersor con la disposición adoptada.

Características del aspersor (con arreglo a las condiciones de su empleo).

Son: presión en boquilla (kg/cm^2), radio ó alcance, pluviometría media horaria, etc.

b) Por el epígrafe VI.1 tenemos al número de aspersores a que se necesitan para poder aplicar al terreno la dotación en litros/segundo precisa.

c) Vimos en el epígrafe II, al describir las diversas clases de tendido de riego por aspersión, que las líneas de aspersores podían seguir las curvas de nivel del terreno o ser normales a ellas. En ambos casos, se precisa un tramo de tubería madre cuyo diámetro no debe nunca sobrepasar el ϕ 5", que es el máximo comercial en España. Una norma para estas tuberías es que el número de Reynolds R_E no sea superior a 400.000, lo que representa que la velocidad v del agua no exceda nunca 2,5 ó 3 m/s. (normalmente los 2,5 m/seg.). Esta condición, y el diámetro máximo de 5", nos dá el caudal máximo del equipo:

$$Q = \frac{\pi \times 0,127^2}{4} \times 2,5 = 0,031 \text{ m}^3/\text{seg.} = 31 \text{ l/seg.}$$

Estamos pues obligados, en superficies de riego grandes, a utilizar tantas unidades de 31 l/s., como precise el total necesario. En otros casos utilizaremos, por existir en el área a regar parcelas de pequeña superficie, unidades de capacidad menor a la que se ha dado anteriormente como máxima.

Nos encontramos pues que las unidades de riego que se pueden establecer en una zona a regar por aspersión tienen un máximo de capacidad de conducción de 31 l/s.; esta cifra puede disminuir cuando se haya de atender a explotaciones que precisen un caudal inferior al anterior ó, caso de ser superior, precisen una unidad fracción de ésta (acorde con el coeficiente entero por exceso al dividir la dotación total precisa para toda la superficie por el caudal máximo de 31 l/s. fijado).

Aclaremos lo expuesto con un ejemplo general;

En el estudio de un terreno que ha de transformarse en regadío tenemos, según el cálculo realizado siguiendo las normas de estas instrucciones (epígrafe VI.1), una necesidad de n aspersores para abastecer la dotación precisa. Pasamos al cálculo de la unidad de riego por aspersión:

1º Caso. - No existe limitación en la unidad de riego por aspersión a establecer.

En este caso tomamos la unidad máxima de 31 l/s. Dividiendo la dosis necesaria para un riego en la totalidad de la superficie (que con las pérdidas correspondientes fué calculada en el epígrafe VI.1 en $\frac{D' \times 10.000}{T \times 3.600} \times 1000 \times S_1$ l/s.) por 31, tenemos el número de unidades de riego por aspersión (o fracción de éstas) necesarias.

Dividiendo el número de aspersores calculado n por el número de equipos precisos tendremos el número de aspersores por equipo. Sea éste N .

Con este dato, el caudal que arroja el aspersor, q , la separación l de estos dentro de la línea, y la presión en boquilla, se procede al uso del ábaco que se adjunta (Fig. 15): ABACO PARA DETERMINAR LAS PERDIDAS POR ROZAMIENTO EN LAS TUBERIAS MOVILES DE REGADORES CON ARREGLO A SU NUMERO Y SEPARACION. Operamos así:

- 1º) - Presión de trabajo en boquilla del aspersor: p Kg/cm²; 20% de la presión anterior $\frac{20p}{100}$.
- 2º) - Separación entre regadores l m. Si l es diferente de 12 mts. se multiplica el 20% de la presión de trabajo por $\frac{l}{12}$.
- 3º) - La cifra obtenida se busca en la escala vertical de la derecha del —

ABACO PARA DETERMINAR LAS PERDIDAS POR ROZAMIENTOS EN LAS TUBERIAS MOVILES DE REGADORES CON ARREGLO A SU NUMERO Y SEPARACION.

El ábaco sirve para regadores distanciados 12 mts. Para otras separaciones multiplicar la pérdida obtenida en el ábaco por $D/12$ siendo D la separación con la cuál se va a proyectar.

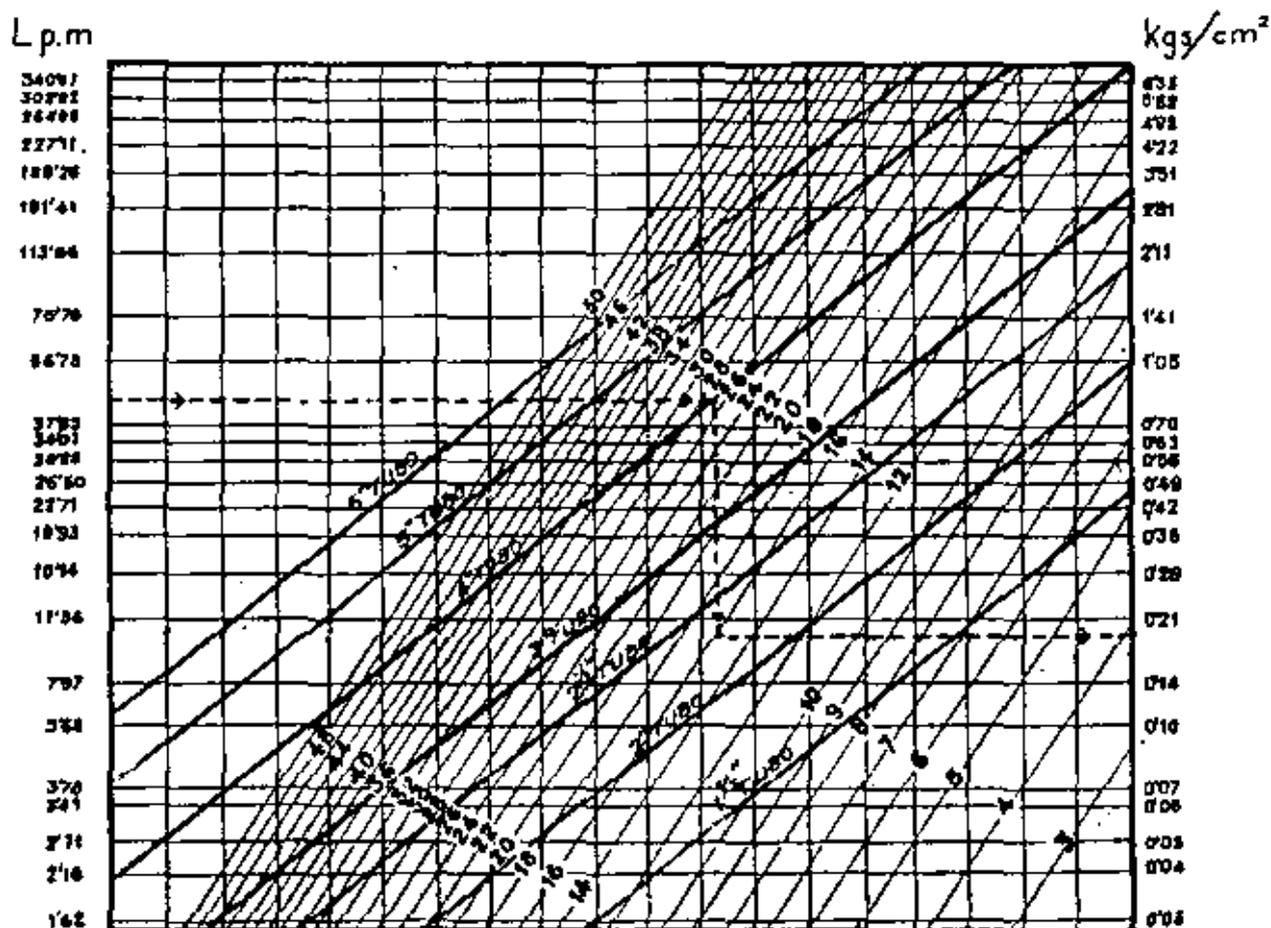


FIGURA 15

ábaco y por ella se traza una paralela al eje horizontal.

- 42) - Se toma en la escala vertical izquierda del ábaco, el caudal que arroja el aspersor q en litros por minuto y se traza en él otra paralela al eje horizontal del ábaco.
- 52) - Como se sabe que las tuberías móviles de aspersores no deben ser de ϕ superior a 4", marcamos los puntos de corte de la línea anterior, con las rectas de tubería 4", 3" y 2".
- 62) - Por estos puntos se trazan verticales hasta su encuentro con la horizontal trazada por la presión en Kg/cm² de la escala vertical derecha; se toma, próximo a estos puntos y por defecto o interpolación, el número de aspersores que figuran en las líneas de éstos.

Tenemos de esta forma:

N'	aspersores con ϕ 4"
N"	" " ϕ 3"
N'''	" " ϕ 2"

Comprobamos que número de éstos es divisor del total de aspersores precisos N , y lo adoptamos como base; sea N'' .

$\frac{N}{N''}$ será el número de líneas de aspersores.

y $N'' \times l$, siendo l la separación en mts. entre aspersores, la longitud que cubre la línea de aspersores ó ala regadora (y, por tanto, la longitud de la unidad de riego).

Antes de adoptarla se procede a la comprobación siguiente: en el mismo ábaco antes usado, se toma en la línea vertical izquierda el caudal del aspersor en litros por minuto, se traza por él una paralela al eje horizontal hasta el encuentro con el diámetro de la tubería; se traza por este punto una vertical hasta su encuentro con la línea del número de aspersores N'' precisos; por este punto una horizontal hasta su encuentro con la escala vertical derecha, que nos dá la pérdida entre los dos aspersores extremos de la línea. Esta pérdida, si la separación l entre los aspersores es de 12 mts., no debe superar al 20% de la presión de trabajo en boquilla de aspersor y, si es diferente de 12 mts., no debe superar al 20% del producto de la presión en boquilla por $\frac{1}{12}$.

Caso de no cumplirse lo expuesto hay que proceder a nueva revisión, hasta que se verifique la condición expuesta.

Tenemos pues que, si el tendido es en tridente, la unidad de riego cu-

bre una longitud de $N'' \times 1$ mts. y, por tanto, las líneas de conducción generales del agua pueden trazarse con separación doble de la longitud anterior; $2 N'' \times 1$.

Si el tendido es en ala lateral, cada posición de tubería madre abastecedora cubre un ancho doble de la longitud del ala regadora $2 N'' \times 1$, cifra que nos sirve para el emplazamiento de las tomas del equipo. La separación de las líneas de conducción generales depende en este caso de la longitud de tubería móvil abastecedora, la cual está limitada por la condición de que no se produzca entre su principio (es decir, su enlace con la tubería general de distribución), y su extremo final una pérdida de carga superior a 10 mts., ó 1 Kg/cm². Hemos visto que $\frac{H}{H''}$ nos dá el número de líneas de aspersores que el equipo accionará simultáneamente, número que multiplicado por $\underline{1}$ en mts. (separación adoptada entre líneas de aspersores para lograr uniformidad en la distribución del agua), nos proporciona el ancho que cubre la unidad de riego en cada posición. La separación entre las líneas de conducción generales debe ser múltiplo exacto del ancho mencionado.

2º Caso. - Existe limitación en la unidad de riego por aspersión a establecer.

Se produce este caso cuando, o bien hay que apoyarse en redes de conducción ya establecidas sobre el terreno, o bien existen divisorias o vaguadas acentuadas que marcan de forma clara una limitación en la longitud de tendido; asimismo, cuando existe una parcelación (o división de unidades de explotación) previamente establecida, con dimensiones fijas, o cuando falta irregularidad en los contornos.

En los casos citados, la unidad de riego a establecer tiene que amoldarse a las condiciones citadas, es decir:

Longitud de tendido de línea de aspersores, \underline{L} mts., limitada por vaguada, límite de parcela, o trazado existente de redes de conducción generales: en estos casos es base del cálculo de la unidad esta longitud. Si no existe parcelación que presente unidades de explotación de superficie variable y siendo N , como en el caso anterior, el número de aspersores calculado para un equipo máximo de 3 l/s. tendremos:

1º) - \underline{L} dividido por $\underline{1}$ nos dá N'' (número de aspersores por línea); $\frac{N}{N''}$ será el número de líneas teóricas precisas (que debe ajustarse, para que sea exacto, incrementando el número n total de aspersores preciso).

2º) - Usamos ahora el mismo ábaco del caso anterior, con el fin de calcular el ϕ de la tubería precisa: En la escala vertical de la derecha tomamos el 20% de la presión de trabajo en boquilla de aspersor, trazando por él una horizontal

hasta su encuentro con la línea del número de aspersores que ha de soportar y levantamos por este punto una vertical. (Es necesario como en el caso anterior, si la separación entre aspersores es distinta de 12 mts., multiplicar el 20% de la presión de trabajo en boquilla de aspersor por $\frac{1}{12}$). Tomamos en la escala vertical izquierda, el caudal del aspersor en litros por minuto trazando por él una horizontal hasta su encuentro con la vertical últimamente trazada; se toma el diámetro de tubería por exceso que más se aproxime a éste punto de encuentro.

3º) - Se procede como en el caso anterior al ajuste y conocimiento de la diferencia de presión existente entre aspersores extremos: con los datos, caudal del aspersor en litros por minuto, ϕ de la tubería y número de aspersores por línea, el ábaco nos dará la pérdida de presión con separación de 12 mts. entre aspersores. En esta comprobación, como antes se indicó en el caso de separaciones distintas de 12 mts, el resultado anterior hay que multiplicarlo por $\frac{1}{12}$, siendo 1 en mts. la separación entre aspersores.

VII.2.- Aplicación a la práctica del cálculo de la unidad de riego por aspersión.

Antes de entrar a aplicar el cálculo expuesto en epígrafes anteriores, vamos a dar como complemento del ábaco de la Fig. 15 otros dos: uno, de empleo similar, que es el ábaco para pérdidas de presión en las tuberías que llevan los regadores (Fig. 16); el otro es un ábaco para el cálculo del caudal por superficie a regar (Fig. 17). Este último sirve para facilitar el cálculo de las dotaciones precisas en el caso de Proyectos de explotaciones con superficie variable, de la que no se dispone de datos físicos previos, por carecer del informe agronómico apropiado.

Manejo del ábaco para pérdidas de presión en las tuberías que llevan los regadores; mediante él podemos calcular:

1º) - El diámetro preciso en esas tuberías:

D A T O S

- 1º - Caudal de descarga del aspersor a utilizar.
- 2º - Presión de trabajo en los regadores.
- 3º - Número de regadores a emplear y su separación.

I N C O G N I T A

Diámetro de la tubería a emplear.

M A N E J O

Se incrementa la presión de trabajo de los regadores en un 20%; la cifra resultante se señala en la escala (5).

Buscar la cifra del número de regadores con separación de 6 ó 12 mts. en la escala (4 A) ó (4 B).

Unir las dos señales anteriores por una línea y prolongarla hasta su encuentro con la línea (3) que sirve de eje.

Unir ese dato de encuentro con el dato del caudal en litros por minuto señalado en la línea (1); en el encuentro de esta línea con la (2) tenemos el diámetro buscado en pulgadas.

Para una separación de regadores distinta de 6 ó 12 mts. se multiplica la presión de trabajo, incrementada en 20%, por $\frac{6}{\text{separación de regadores}}$ y este resultado se señala en la escala (5); se sigue ahora el mismo procedimiento antes indicado, debiendo usarse la escala (4 A).

2º) - La pérdida de presión entre aspersores extremos.

Puede usarse este ábaco para buscar la presión de trabajo del regador - conociendo el diámetro de la tubería: se sigue la marcha recíproca a la indicada. Cuando se trabaja con separación distinta de 6 ó 12 mts. en los regadores, multiplicar el resultado que se obtenga en la escala (5) por $\frac{6}{\text{separación de regadores}}$.

Manejo del ábaco para el cálculo del caudal por superficie a regar (Fig. 17):

D A T O S

1º - Superficie a regar en Ha.

2º - Frecuencia (intervalo de días entre cada dos riegos).

3º - Horas de riego por día.

4º - Altura de lluvia por cada riego, en pulgadas. (1)

I N C O G N I T A

Caudal preciso, en litros por minuto.

M A N E J O

El ábaco tiene: una línea horizontal "Has. a regar", desde 6 hasta 52,6; una serie de rayas inclinadas numeradas de 5 a 24 que indican la frecuencia, o —

(1) Nota: La altura de lluvia corresponde a la dotación precisa por riego para una profundidad de la zona radicular en el terreno de un metro (una pulgada = 254 m³/Ha.).

ABACO PARA PERDIDAS DE PRESION EN LAS TUBERIAS QUE LLEVAN LOS REGADORES

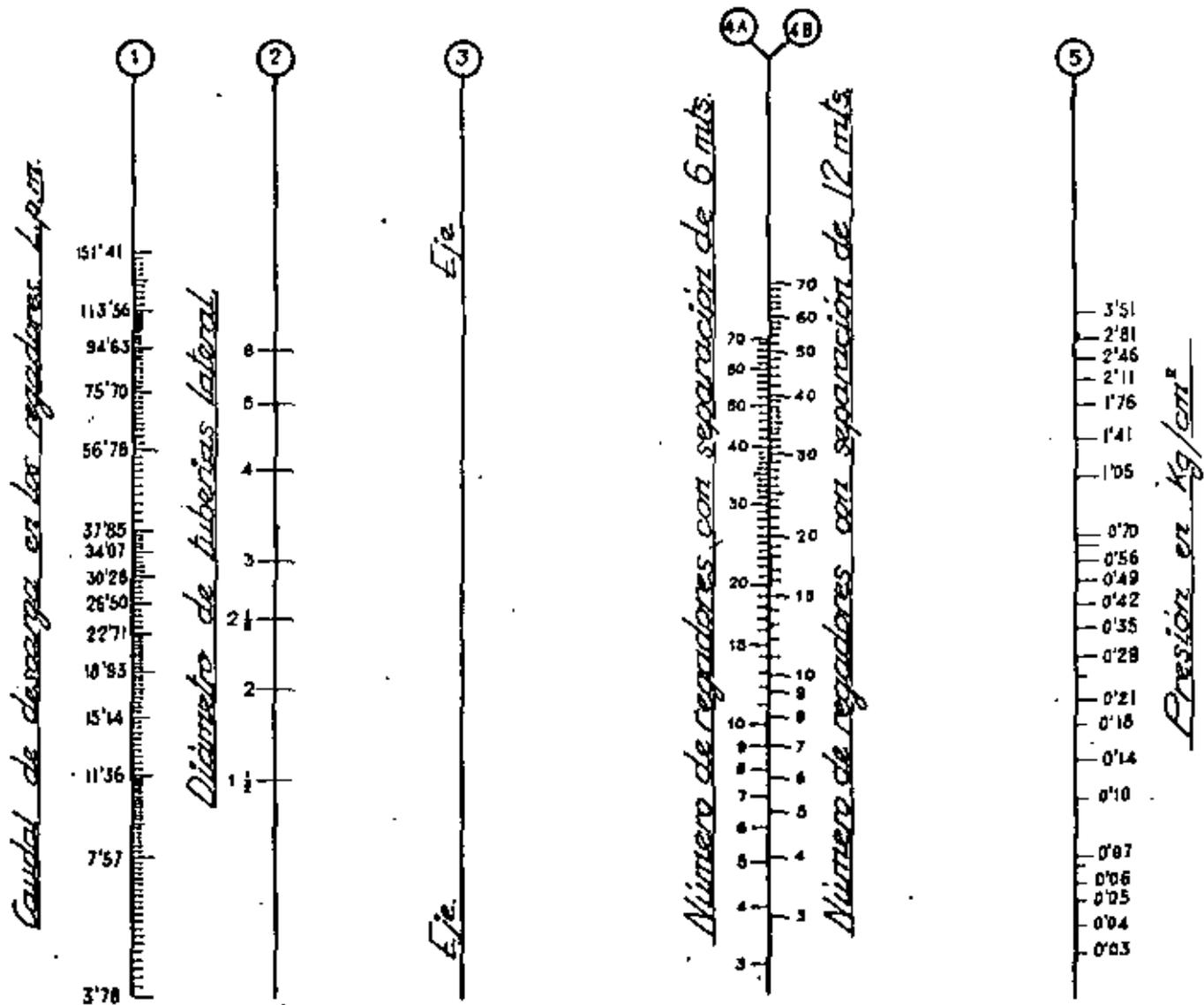


FIGURA 16

ABACO PARA EL CALCULO DEL CAUDAL POR SUPERFICIE A REGAR

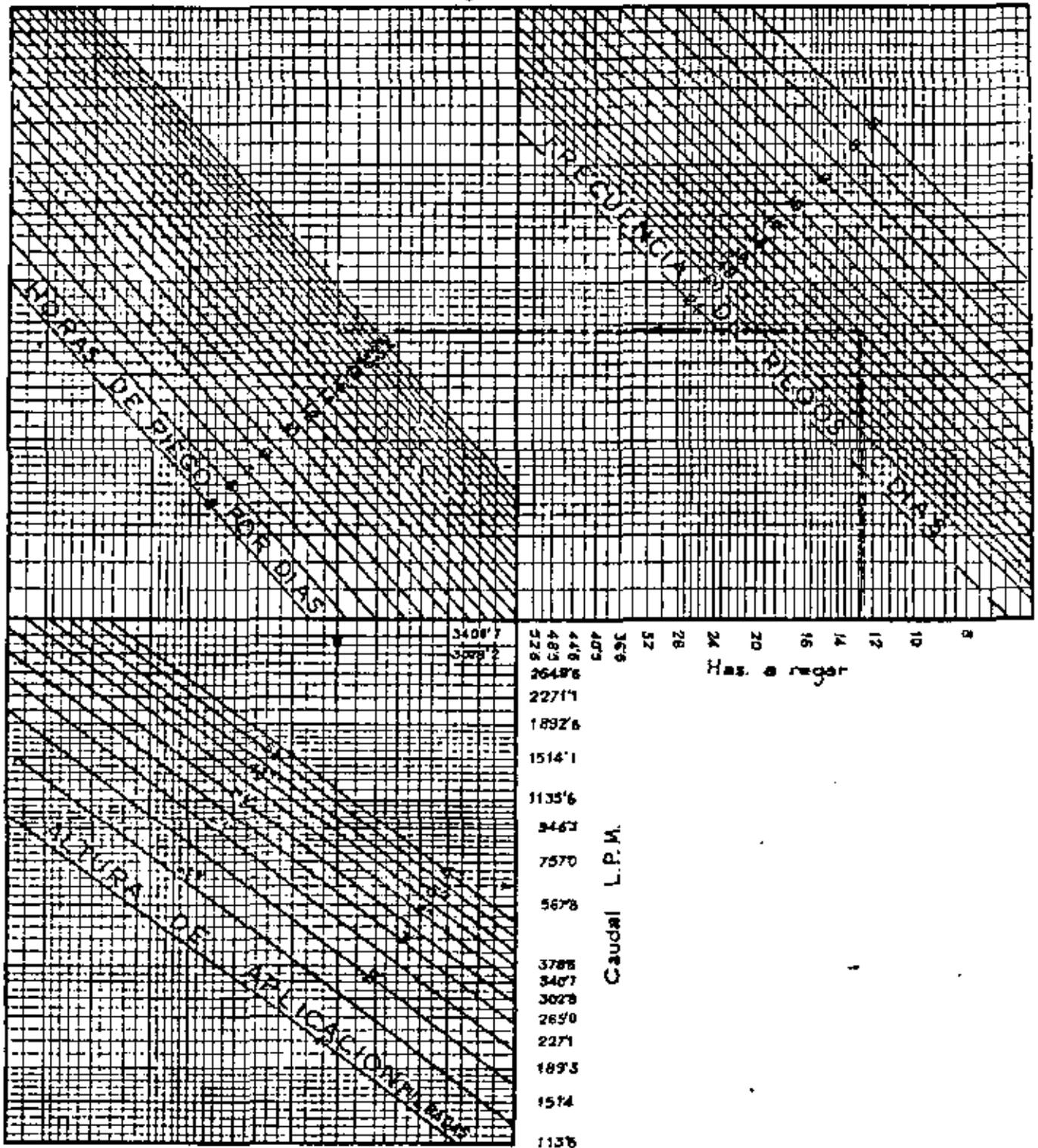


FIGURA 17

intervalo de días entre cada dos riegos; otra serie de rayas inclinadas numeradas de 5 a 24 que indican las horas de riego por día; debajo de éstas últimas, otra serie, numerada de 1" a 6", que representa la lluvia que se aplica, en pulgadas de altura, por riego; por último una línea vertical en la que una serie de números, del 113,656 al 2.649,640 indican l/m.

Ejemplo:

Se desea regar un terreno de = 13 - 35 - 00 Has.

Frecuencia, o días entre dos riegos = 13.

Horas de riego por día = 20.

Altura de lluvia = 3,2".

La raya marcada con flechas del ábaco nos indica la marcha a seguir y señala un caudal en litros por minuto = 643,50 l.p.m.

Si se trabaja con una superficie superior a 52 - 60 - 00 Has. dividir esta superficie por 10 y trabajar con este coeficiente; el caudal en l/m. que se obtenga se multiplicará por 10.

La aplicación del cálculo de la unidad de riego por aspersión al caso práctico de un Proyecto que abarca una superficie con condiciones topográficas y de parcelación variable es como sigue:

Si no existe parcelación o división de unidades de explotación, la unidad calculada según el primer criterio debe servir de base para una parcelación del terreno; ésta debe apoyarse en un previo señalamiento de las divisorias y vauadas, que marcarán la limitación en la longitud de las líneas de aspersores. A continuación, dentro de la división anterior, con las dimensiones de largo y ancho que marca el empleo de un equipo máximo de 31 l/s., se procede al dibujo de los tendidos, así como a la delimitación de las superficies que puede atender. Sabiendo que con la totalidad de aspersores n se atiende la superficie total de la zona S_1 , con los N que posee la unidad calculada se atenderá una superficie S_2 . - Esta superficie S_2 puede ser también obtenida dividiendo la superficie S total del Proyecto, por el número de unidades máximas 31 l/s. precisa.

La disposición, o dibujo previo en el plano taquimétrico del terreno, de los tendidos de las líneas de aspersores y de las líneas de limitación topográficas para las mismas, así como la delimitación de las unidades que puede atender el equipo de capacidad máxima diseñada de 31 l/s., nos proporciona el trazado de las redes de conducción generales precisas y el emplazamiento sobre ellas de las tomas para las unidades de riego por aspersión.

En el caso de líneas de conducción generales ya construidas, hay que ar:01

dar los tendidos de los equipos de riego por aspersión precisos, a la separación existentes entre ellas.

Cuando existe parcelación previa, ésta obliga al estudio aislado del equipo preciso para cada una de ellas, o a la agrupación de varias para no hacer su empleo antieconómico. Se adaptará entonces el trazado de las redes de conducción general, si no están construídas, a la disposición de equipos anteriores.

VIII - DIFERENTES SISTEMAS DE TENDIDO QUE PUEDEN PRESENTARSE EN EL
RIEGO POR ASPERSIÓN

75

En el epígrafe II se definieron las instalaciones de riego por aspersión posibles, figurando allí los croquis de las mismas con sus tendidos de tuberías; siendo estos últimos la base del estudio de las unidades de riego por aspersión, se describe en estas instrucciones su empleo para el diseño de las mismas.

En primer lugar, cuando se trata de instalaciones de riego por aspersión móviles, los tendidos posibles son:

Tendido en tridente o tenedor:

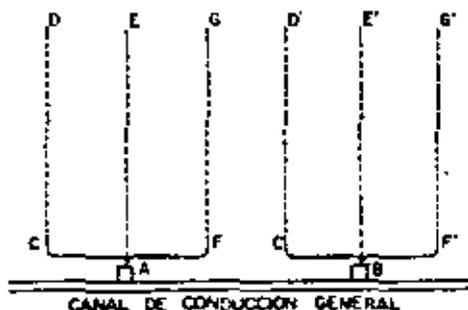


FIGURA 18

Mediante el cálculo anterior de la unidad de riego por aspersión, hemos determinado el número de aspersores precisos por línea y el número de éstas para un equipo de máxima capacidad, $\frac{1}{s}$. (todo ello cuando no existen limitaciones de caudal inferior al anterior acordes con la superficie de terreno o con las unidades de explotación que ha de atenderse).

Al tratarse de una instalación móvil en la que, según la Fig. 18, son precisas 3 líneas de tendido con longitud para cada una $CD = AE = FG$, en cada posición de la unidad, se cubre una superficie que tiene una longitud $CD = (\text{número de regadores por línea}) \times (\text{Separación de los regadores dentro de la línea})$.

La anchura viene dada por el producto: $(\text{Número de líneas}) \times (\text{Separa-$

ción entre líneas).

Por tanto, si el terreno es prácticamente horizontal en el sentido de los tendidos de las líneas de regadores CD, AE, etc., la separación de conducciones generales o acequias es el doble de la longitud de la línea de regadores.

El número de desplazamientos de la unidad a lo largo del canal, lo dará el cociente entre la longitud que cubre la conducción o acequia general en su recorrido y la anchura que cubren las tres líneas.

El número anterior de desplazamientos de la unidad de riego, cuando se trate de unidades de riego por aspersión inferiores a la capacidad máxima admisible de 31 l/s., puede disminuirse proveyendo al equipo de mayor longitud de tubería abastecedora, como se indican en la Fig. 19: este croquis representa —

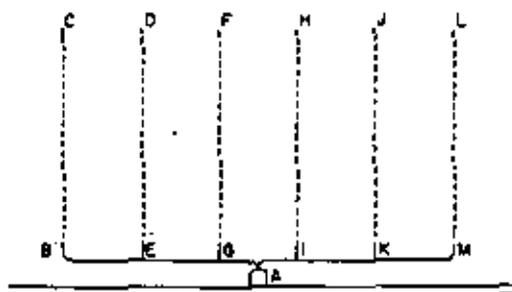


FIGURA 19

dos instalaciones de 15 l/s. que se accionan con un sólo grupo de bombeo instalado en A, al que se une el tramo GI de tubería madre o abastecedora.

Tendido en ala lateral: En este caso, (que se presenta cuando la pendiente del terreno es tan fuerte, que puede descompensar las presiones de trabajo en los aspersores, produciendo una diferencia de presión entre los dos extremos superior al 20% de la presión de trabajo) hay que tender las tuberías de aspersores si-

guiendo las curvas de nivel, como indica el croquis de la Fig. 20.

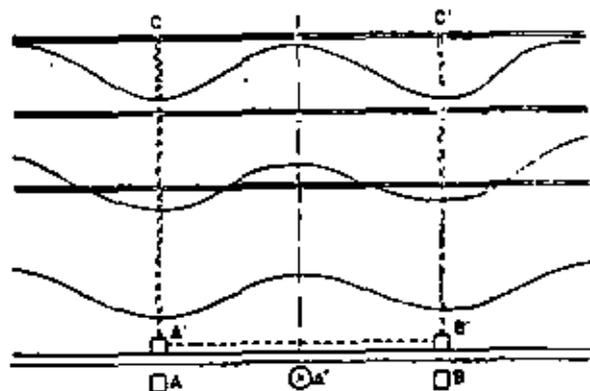


FIGURA 20

La separación entre acequias o líneas generales de conducción es, en este caso, doble de la longitud A'C o B'C' de tubería madre que, como máximo, debe ser aquella que con el ϕ adoptado no produzca una diferencia de presión entre sus extremos superior a 10 mts.

El ancho que cubre la unidad en este caso es la longitud de la línea de aspersores multiplicada por dos.

El número de instalaciones del equipo puede ser disminuído, como en el caso anterior, cuando se trata de unidades de riego inferiores a 31 l/s. de capacidad. Estas pueden agruparse uniendo los tramos A'C y B'C' de tubería madre del croquis, por otro A'B' e instalando el grupo de bombeo o efectuando el acople con la tubería de conducción general, en A".

Los casos expuestos se aplican igualmente al caso de Proyecto de Riego por conducción general forzada, en el que las acequias son sustituidas por tuberías enterradas.

Cuando existe parcelación excesiva previa con el fin de abaratar la instalación, el sistema de tubería de conducción forzada es el más indicado - - pues las conducciones a cielo abierto tendrían que ir bordeando en lo posible las parcelas. Se aconseja, un punto de toma fijo único para el equipo por parcelas; asimismo, cuando estas unidades son de pequeña extensión, interesa que una sola toma pueda servir para varias unidades.

Damos los diversos casos generales que pueden presentarse en las figuras 21, 22 y 23.

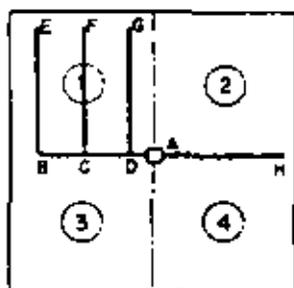


FIGURA 21

Toma en el centro de parcelas o unidades de explotación Fig. 21. En este caso, el tramo de tubería madre o abastecedora AB permite instalar un equipo de riego por aspersión en las cuatro posiciones (1) (2) (3) (4), con sólo desplazarla.

Si se trata de tendido en ala lateral, se cubre igualmente - como indica el croquis de la Fig. 22.

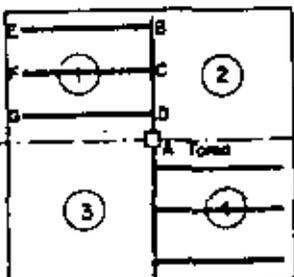


FIGURA 22

Este tendido se adopta cuando existe fuerte pendiente en el terreno, para que sigan las líneas de regadores las curvas de nivel.

Si se trata de unidades de explotación o parcelas de pequeña superficie que pueden agruparse, croquis Fig. 23, en una sola toma puede atenderse a todas con dos ramales de tubería madre o abastecedora que parten simultáneamente de la toma mencionada (GH y GI) y sirven al riego de las dos parcelas - (ABCD y CDEF).

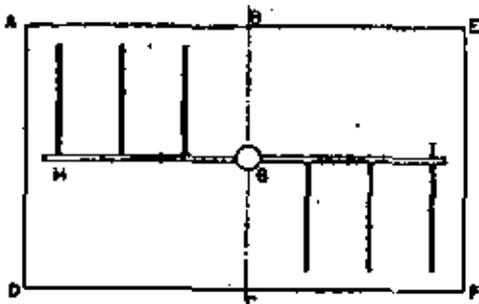


FIGURA 23

Por último cuando la unidad de explotación que se atiende tiene una longitud inferior a la de la línea de aspersores calculada, en el sentido del tendido de estas, es preciso aumentar el número de líneas de aspersores en el tendido. En este caso, se puede aprovechar esa menor longitud precisa en el ala regadora, comprobando con los ábacos si la sección precisa puede disminuirse.

Normalmente, en el caso citado, se precisará mayor longitud de tubería madre o abastecedora.

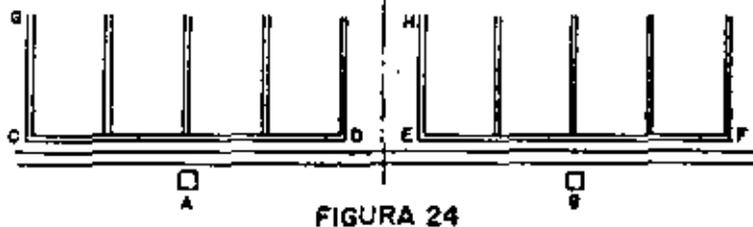


FIGURA 24

Caso el anterior que se muestra en el croquis (Fig. 24) y equivale al 1º de los anteriores (Fig. 18), pero con una menor longitud admisible de las alas (CG o EH); ello obliga, para el empleo total del número de aspersores, a un mayor número de líneas por posición (cinco en lugar de tres).

En estos casos, se aumenta la separación AB entre las estaciones de bombeo (o tomas) sobre la conducción general.

Quando se trate de cubrir parcelas irregulares es preciso estudiar — aisladamente los tendidos precisos, pues puede ocurrir, como indica el croquis

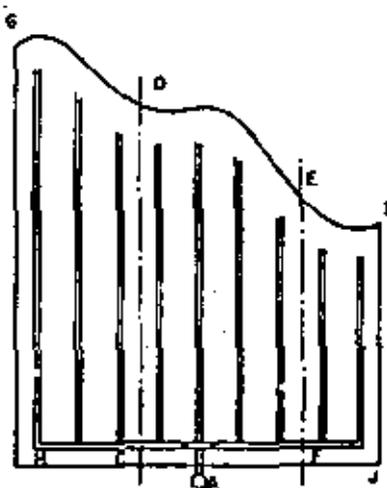


FIGURA 25

(Fig. 25) que con el empleo total del número de aspersores sean necesarias tres líneas para cubrir la zona CHGD, mientras que para la zona CDEF, se precisarán 4 líneas; contrariamente la EFIJ es regada con sólo dos líneas y con menos aspersores. Esta última posición de tendido arroja un menor caudal y ello afecta a la necesidad total de riego. Es preciso tenerlo en cuenta aumentando la dotación inicial, y por tanto el número de aspersores, que en principio fueron necesarios.

El examen de las disposiciones anteriores, que se presentan en el conjunto del proyecto, es la

base para iniciar el trazado definitivo de las redes de conducción y proceder al ajuste final de las unidades de riego precisas. Estas deben cubrir las necesidades totales de agua, sin afectar a los turnos y horarios de riego que han de emplearse.

VIII.1.- Disposición de los tendidos acorde con los accidentes topográficos del terreno.

Con el fin de que al proyectar una estación de riego por aspersión, se tengan presentes las condiciones topográficas en el trazado de las líneas de re-

gadores, interesa conocer la forma en que han de resolverse las anomalías que se pueden plantear. Se dan en estas instrucciones una serie de disposiciones como modelo o información del proyectista: Figs. 26, 27, 28, 29, 30 y 31.

1ª Disposición: (Fig. 26), de empleo en terrenos con pendientes suaves y uniformes y con toma de agua en el centro de la parcela.

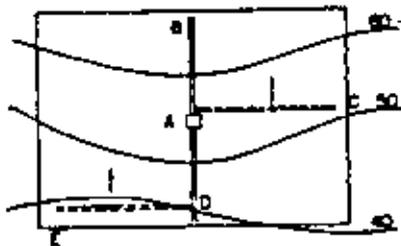


FIGURA 26

A = Toma de agua.

Las líneas AB y AD son tendidos de tubería madre o principal; AC y DE son tendidos de la línea de aspersores que siguen aproximadamente las curvas de nivel.

El sentido de desplazamiento de las líneas de aspersores es: la AC recorre la tubería principal AB, primero en sentido ascendente a la derecha y luego descendente a la izquierda. La DE, recorre la línea principal AD en sentido ascendente a la izquierda - y luego descendente a la derecha.

2ª Disposición: (Fig. 27), de empleo en las mismas condiciones topográficas que la anterior, pero con toma de agua al borde de la parcela o unidad de riego y utilizando un número de líneas de aspersores superior a dos.

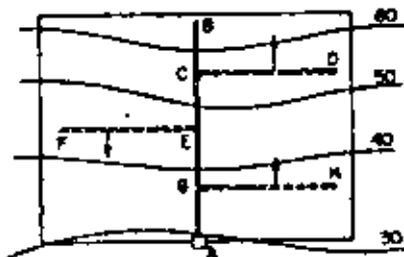


FIGURA 27

A = Toma de agua.

La línea AB es la tubería madre o principal.

GH, línea de regadores, recorre el espacio GE sólo en sentido ascendente a la derecha.

EF, recorre EG en sentido descendente a la izquierda.

CD, recorre primero en sentido ascendente CB y luego en sentido descendente BE.

3ª Disposición: (Fig. 28), de empleo en los terrenos donde la pendiente existente a lo largo de la línea de aspersores, siendo descendente desde la - cabecera del tendido, gana la pérdida de carga por rozamiento pero sin sobrepasar el 20% de la presión de trabajo en aspersor.

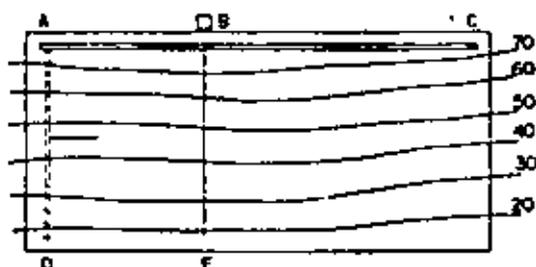


FIGURA 28

La línea ABC es tubería madre o principal. AD es la línea de aspersores, (que se tiene de siguiendo la pendiente); su desplazamiento es en el sentido AB; asimismo el recorrido de BE (segunda línea de aspersores y tendida de manera análoga) es BC.

4ª Disposición: (Fig. 29), de empleo en terrenos con pendientes superiores a las del caso anterior. Al poderse sobrepasar el límite del 20% de la presión de trabajo en boquilla, obligan al tendido de las líneas de aspersores a seguir otras direcciones que las de la línea de máxima pendiente.

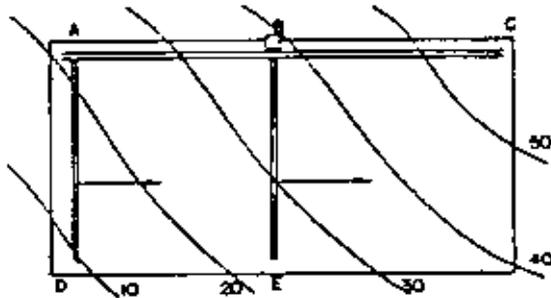


FIGURA 29

Las condiciones de tendido y desplazamiento son las mismas del caso anterior, pero formando las líneas de aspersores un cierto ángulo con la de la máxima pendiente, para disminuir el incremento de presión que el desnivel del terreno proporcionaría.

5ª Disposición: (Fig. 30), teniendo para terrenos con divisorias o vaguadas tan acusadas que impiden que sean cruzadas por las líneas de aspersores, sin fuertes diferencias de presión de trabajo entre los dos aspersores extremos de la línea.

En este tendido la tubería AB y las dos ramas AC y BD son de tubería madre o principal; las dos, EF y GH son líneas de aspersores sobre AC, cuya longitud está limitada por la distancia entre la divisoria y la vaguada.

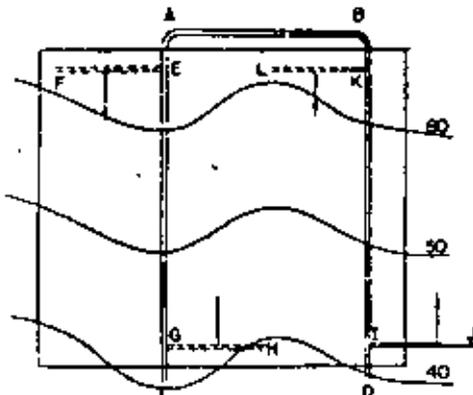


FIGURA 30

El desplazamiento es como sigue:

EF recorre EG en sentido descendente a la izquierda y luego ascendente a la derecha.

GH recorre GE en sentido ascendente a la derecha y descendente a la izquierda.

Por la misma razón la línea de aspersores IJ (de BD) se desplazará primero en sentido ascendente a la derecha de la línea BD y luego descendente a la siguiente; LK recorre, primero en sentido descendente a la izquierda y luego ascendente a la derecha, la línea BD.

6ª Disposición: (Fig. 31), teniendo para salvar una vaguada pronunciada que existe en la zona que ha de regarse.

En este tendido BACE es la línea de la tubería principal; BF y DG son

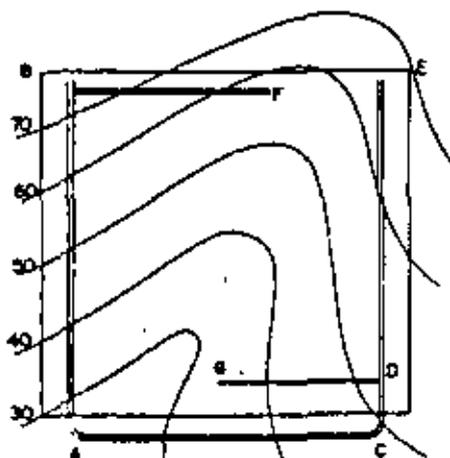


FIGURA 3

Las líneas de aspersores que se han tendido oblicuamente a la línea de máxima pendiente para atenuar el incremento de carga; su longitud está limitada por la línea de vaguada.

BF recorre BA en sentido descendente o ascendente, pero sólo a la derecha; GD se desplaza a lo largo de CE en los mismos sentidos, pero a la izquierda.

IX - AJUSTE DEFINITIVO DEL EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSION PRECISO

83

Hemos visto, a lo largo de los epígrafes anteriores, que puedan presentarse posiciones irregulares de tendido que obligan al empleo de un número de aspersores, y caudal unitario, superior al necesario para atender el riego con la frecuencia y horario adoptados como base del Proyecto; ello obliga asimismo a un aumento de las horas que los desplazamientos exigen.

Las anomalías anteriores modifican, pues, la unidad de riego por aspersión necesaria calculada al principio, obligando a un nuevo ajuste definitivo de la misma.

Vimos en el epígrafe VI que la dosis necesaria por riego es: $\frac{D' \times 10.000}{b(100-a)}$ m³/Ha. Teniendo en cuenta la duración de T horas por cada riego, el caudal unitario preciso en l/seg. Ha. era:

$$\frac{\frac{D' \times 10.000}{b(100-a)}}{T \times 3.600} \times 1.000$$

En el apartado 4 del mismo epígrafe elegimos el tipo de aspersor y en el apartado 5 las separaciones óptimas de tendido entre aspersores y líneas de éstos, así como la pluviometría media horaria que esta disposición proporciona y la superficie en m². que cubre cada aspersor.

En el epígrafe VI.1.- determinábamos con arreglo a la superficie total del proyecto S₁ el caudal total necesario.

$$\frac{\frac{D' \times 10.000}{b(100-a)}}{T \times 3.600} \times 1.000 \times S_1 \text{ (en litros/segundo)}$$

El cociente entre este caudal y el del aspersor elegido nos daba el número de estos.

El primer ajuste es el siguiente:

El número de aspersores precisos, por la superficie en m^2 cubierta por cada uno, nos da la superficie total S_2 que cubre cada disposición.

La pluviometría horaria que proporciona el tendido en mm/hora, por 10, nos dá los m^3 /hora que proporciona el equipo por Ha. de terreno regado. Dividiendo por él la dosis necesaria para el riego y Ha. tenemos las horas t necesarias para cada posición del tendido de riego. El número de desplazamientos vendrá dado por el cociente S_1/S_2 . Este número multiplicado por t nos debe proporcionar las horas totales T precisas por riego, calculadas en el apartado (3) del epígrafe VI.

En el caso, de que la coincidencia apuntada no se produzca, será preciso incrementar el número de aspersores y, por tanto la dotación total necesaria o bien, las horas precisas de riego.

Si, por irregularidades de contorno, se produzcan limitaciones del número total de aspersores precisos en algunos de los tendidos de las unidades de riego establecidas, se debe estudiar en el Proyecto qué posiciones presenta esta diferencia; se determinan las superficies S'_2 cubiertas que serán menores que S_2 ; la diferencia $(S_2 - S'_2)$ nos dá la superficie que se deja sin cubrir en las T horas de riego; se incrementará la dotación necesaria y, por tanto, el número de aspersores precisos para subsanarla.

Ahora bien, este aumento se traducirá en un número mayor de horas necesarias en desplazamientos: será preciso computar las horas que se precisan para este fin.

IX.1.- Coeficientes medios horarios en manipulación del equipo de riego por aspersión y su empleo.

De experiencias realizadas en Centros de experimentación de riegos por aspersión, en conexión con el Centro de Estudios Hidrográficos, así como en la finca experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas, damos los coeficientes siguientes:

Horas necesarias en manipulación y transporte lateral de un equipo de riego por aspersión, con separación de 12 mts. entre aspersores y 12 mts. entre alas, por Ha. y riego, según el cultivo.

Se tiendan BC' y HI' (tuberías de regadores) necesitándose:

para 156 mts. de tubería BC' transportados 36 mts. $\frac{156 \times (56' + 20')}{100}$ — 1h 58'

para 156 mts. de tubería HI' transportados 24 mts. $\frac{156 \times (56' + 10')}{100}$ — 1h 42'

Las horas precisas para trasladar lateralmente BC' a FG' y HI' a DE (24 mts.) son: $2 \times \frac{156 (56' + 10')}{100}$ — 3h. 24'

Las horas precisas para trasladar longitudinalmente DE' a DE y FG' a FG (156 mts.) son: $2 \times \frac{156 (1h. 32')}{100}$ — 4h. 47'.

Las horas precisas para trasladar lateralmente DE a HI y FG a BC -- (24 mts.) son: $2 \times \frac{156 (56' + 10')}{100}$ — 3h. 24'.

Total horas 15h. 54'

Como se atiende 1 - 55 - 52 Has., por Ha representa 10 h. 13'.

Difiere en exceso de las horas medias anteriores, debido a que los coeficientes empleados son del cultivo que exige mayor número de horas de manipulación.

Si atiende el equipo doble superficie de la anterior, la separación de tomas A es de ----- $2 \times 162 = 324$ mts.

Habrá que añadir el traslado de AB a la otra posición en la nueva arqueta.

42 mts. de tubería trasladados 324 mts. requieren:

$$2h. + 22,4 \times 12' - 3,8 \times 15' = 5h. 31'$$

en 3 - 11 - 04 = $2 \times (1-55-52)$ Has.; por Ha. requerirán ----- 1h. 46'. Por otro lado, el desplazar en el primer tendido 156 mts. de tubería 36 mts., y 156 mts. 24 mts., se sustituye por dos transportes longitudinales de 156 mts.

$$\frac{2 (1h. 32') \times 156}{100} = 4 h. 47'$$

(en lugar de 3h. 40')

Horas totales: 15 horas 54' - 3 horas 40' + 4 horas 47' + 5 horas 31' = 22 h. 32'
para las 2 x (1 - 55 - 52) Has. = 3 - 11 - 04 serán:

$$15 h. 54' + 22 h. 32' = 38 h. 26'$$

Por Ha serán: 12 h. 21'.

<u>Trigo</u>	<u>Habas</u>	<u>Maiz</u>	<u>Ramolacha</u>	<u>Patatas</u>	<u>Alfalfa</u>
6 h 17'	6 h	9 h 10'	8 h 30'	6 h 45'	6 h 20'

Computando una alternativa media del 20% de trigo, 10% de Habas, 10% de patatas (detrás del trigo), 20% de maiz, 30% alfalfa y 20% de ramolacha tenemos un coeficiente medio a utilizar de

$$\frac{20 \times 377 + 10 \times 360 + 10 \times 405 + 20 \times 550 + 30 \times 380 + 20 \times 510}{100} \approx 478' = 7 \text{ horas } 57'$$

Para el caso, de que el número de horas quiera ser calculado damos los coeficientes siguientes:

	Media según cultivo
Traslado de 100 mts. de tubería de aspersores, lateralmente, 12 mts.	56'
Por cada 12 mts. de aumento en el desplazamiento anterior	10'
Traslado o instalación de 100 mts. de tubería, longitudinalmente	1 Hora 32'
Por cada desplazamiento total de la tubería madre del equipo (con 80 m. de tubería a 100 metros y su instalación)	2 Horas.

Por cada 10 mts. más de tubería en el desplazamiento anterior, aumentar 15'. Por cada 10 mts. más de distancia incrementar 12'.

IX.2.- Empleo de los coeficientes anteriores en los tendidos.

1º. Caso: Tendido en ala lateral (Fig. 32).

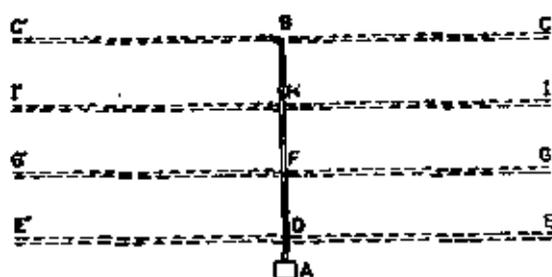


FIGURA 32

Tenemos un equipo en el que:

AB = longitud de tubería madre o abastecedora = 42 mts.

2 alas regadoras de longitud:

BC=HI=FG=DE=DE'=HI'=BC' = 156 mts. tendidas al mismo tiempo.

La separación entre aspersores es de 12 mts. y entre líneas es también de 12 mts., por tanto: HI=HF=FD=12 y DA=6 mts.

La longitud que cubre un tendido de 156 mts. de ala, es 162 mts.; el equipo cubre una superficie total de $48 \times 2 \times 162 = 1 - 55 - 52$ Has.

El funcionamiento del equipo es el siguiente:

Se tiende AB (tubería madre de 42 mts.) en sentido longitudinal; las horas precisas, serán: $\frac{42(1h.32')}{100} \approx 39'$.

29. Caso: Tendido en tridente con las mismas características anteriores - (Fig. 33).

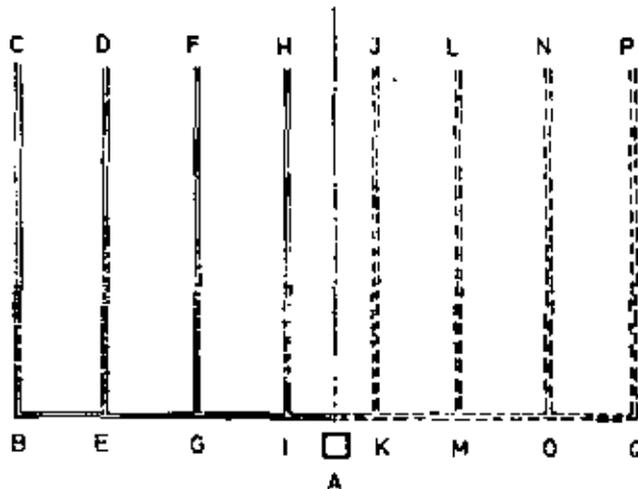


FIGURA 33

Cubre, como en el caso anterior, $2 \times 42 + 12 = 96$ mts. de ancho y 162 de fondo (es decir, una superficie de 1-55.52 Has.).

En este caso las horas precisas en los tendidos son:

Se tiende AB y AQ (84 mts. de tubería abastecedora) longitudinalmente, lo que representa: $\frac{84 (1h. 32')}{100} = 1h. 18'$.

BC y DE (2×156 mts. de tubería de regadores) longitudinalmente lo que representa: $2 \times \frac{156 (1h. 32')}{100} = 4h. 27'$.

Traslado de BC a GF, de ED a IH y análogos (lo que supone 6 veces el transporte de 156 mts. de tubería a 24 mts.): $6 \times \frac{156 (56' + 10')}{100} = 10h. 17'$

Total 16h. 2'.

Si atiende doble superficie hay traslado del equipo a nueva arqueta, - distante de A 96 mts. (84 mts. de tubería madre a 96 mts. y 312 mts. de ala regadora a 24 mts.). El cómputo de tiempos empleados será:

Tiempo en una parcela	16 h. 2'
Tiempo de traslado de tubería madre 2 h. +	
$4 \times \frac{15'}{10} = 4 \times \frac{12'}{10}$	2 h. 1'
Desplazamiento lateral de las dos alas en .	
cambio de parcela $312 \times \frac{56' + 10'}{100}$	3 h. 26'
Desplazamiento lateral de las dos alas en .	
la segunda parcela	10 h. 17'
T O T A L	<u>31 h. 47'</u>

Lo que representa por parcela 15 h. 54'.

X - CALCULO DE LA LINEA DE ASPERSORES

Se han dado en los epígrafes VII.1.- (Cálculo de la unidad de riego - por aspersión) y VII.2.- (Aplicación a la práctica del cálculo de la unidad de Riego por aspersión) unos ábacos para el cálculo de la línea de aspersores (Figs. 15, 16 y 17). No obstante la clara utilización de esos ábacos, es conveniente, - que el Ingeniero Proyectista conozca las fórmulas utilizadas, así como otros - ábacos simplificados de empleo similar. Lo expuesto, es el motivo de dedicar este epígrafe, casi con carácter exclusivo, a su descripción y empleo.

En los Sub-epígrafes que se dan a continuación figuran un número elevado de fórmulas y ábacos de uso corriente para establecer una línea de aspersores, ó a la regadora, en un Proyecto de Riego por Aspersión.

X.1.- Pérdidas por rozamiento en la línea de aspersores.

La circulación de un caudal de agua a través de una cierta longitud de tubería de un diámetro dado y con salida única por su extremo final produce, como es lógico, mayor pérdida por rozamiento que en el caso de que este mismo caudal de agua se distribuya a lo largo de la tubería mencionada por una serie de - pequeñas salidas equidistantes.

Pues bien, para la determinación de las pérdidas en este último caso,-

que es el presentado normalmente en el cálculo de las líneas de aspersores, - - Christiansen⁽¹⁾ ha desarrollado un método, el cual adoptamos como de uso general en estas instrucciones.

El método utiliza la fórmula de Scobey⁽²⁾, que es afectada de un factor F , basado en el número de salidas (aspersores) instalados en la tubería, N .

La fórmula de Scobey es como sigue:

$$H_p = \frac{K \times L \times V^{1,9}}{1.000 \times D^{1,1}}$$

siendo:

H_p la pérdida por rozamiento, en pies, que se produce en la tubería; K Coeficiente de fricción, que se opone a la circulación del agua, el cual depende de la clase de material de la tubería y de su estado; L , Longitud de la tubería en pies; V , Velocidad del agua en la tubería en pies/segundo; D , Diámetro de la tubería en pies.

Para utilizar la fórmula anterior en el sistema métrico decimal se tiene la equivalencia de 1 pie a 0,3048 mts.

Con L' en mts., V' en m/seg., D' en mts. y $H'p$ en mts., tendremos:

$$\frac{H'p}{0,3048} = \frac{K \times \frac{L'}{0,3048} \times \left(\frac{V'}{0,3048}\right)^{1,9}}{1.000 \times \left(\frac{D'}{0,3048}\right)^{1,1}}$$

$$H'p = \frac{K}{1.000} \times \frac{1}{(0,3048)^{0,8}} \times \frac{L' \times (V')^{1,9}}{(D')^{1,1}} \quad (I)$$

Los valores de K dependen de la separación entre las uniones o acoplamientos del tubo, así como del diámetro de la tubería. Considerando, como es normal, que estas tuberías sean de aluminio, los valores de K son:

Separación entre acoples, o uniones, de 9 mts.

Tubería de ϕ 50 mm. K = 0,34

" de ϕ 76 mm K = 0,33

(1) Christiansen J.E. Irrigation by Sprinkling. Boletín nº 670 de 1.942 de la Universidad de California.

(2) Scobey's the Flow of Water in Riveted Steel and Analogous Pipes. Boletín 150 1.930. Departamento de agricultura de Estados Unidos.

Tubería de ϕ 101	K = 0,32
" de ϕ 127	K = 0,32 .
" de ϕ 152	K = 0,32

Para el caso de separaciones de 6 mts. se deben incrementar en un 7% los valores que se obtengan aplicando los coeficientes anteriores; en el caso de separaciones de 12 mts. se deben disminuir en un 3%.

Las pérdidas de carga obtenidas según el cálculo anterior, deben afectarse, según el número de salidas, o aspersores, en la tubería, de un factor F calculado empíricamente y cuyo valor es:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \sqrt{\frac{m-1}{6N^2}}$$

siendo: $m = 1,9$ exponente de la velocidad en la fórmula Scobey; $N =$ número de salidas o boquillas en la línea considerada.

Los valores de F , según el número de salidas del ala, se dan en el cuadro de la Tabla A (Fig. 34).

Para facilitar al Ingeniero Proyectista la aplicación de la fórmula de Scobey, se da la Tabla de pérdidas obtenidas utilizando la citada fórmula, por 100 mts. de tubería y para caudales y diámetros de tubería variables (Tabla B - Fig. 35; Valores obtenidos aplicando la fórmula (I) con $L = 100$ metros). Los valores que figuran en dicha tabla B corresponden a tubos cuyos acoples o uniones están separados 9 m.; si estas uniones o acoples estuvieran a 6 mts. habría que incrementar las pérdidas del cuadro en un 7% y si estuvieran a 12 mts., disminuir las en un 3%.

Un ejemplo aclaratorio a la aplicación de la Tabla B, es el siguiente:

Sobre una línea de aspersores de L mts. de longitud, de aluminio, con un ϕ d y cuyos tramos (o separaciones entre los acoples) son de 6 m., se instalan N aspersores a una equidistancia de 8 mts. y con un caudal de descarga unitario de q l.p.m. Se pide la pérdida de carga que se produce entre los dos aspersores extremos.

El caudal total de la línea es $q \times N$, l.p.m.; este dato se busca con el diámetro del tubo en el cuadro de la Tabla. En la intersección de las líneas horizontal, trazada por el caudal, y vertical, por el diámetro, tenemos la pérdida de carga H_p (en mts. por 100 mts. de tubería); pérdida que, para la longitud L de tubería es, $\frac{L \times H_p}{100}$. Ahora bien, el número de aspersores es N ; con este dato, la tabla A (Fig. 34) nos da el coeficiente F de corrección que debe aplicarse a la pérdida de carga calculada anteriormente. La pérdida real será por tanto

$$\frac{L \times H_p}{100} \times F$$

TABLA A

FACTOR F DE CORRECCION DE LAS PERDIDAS POR ROZAMIENTO
SEGUN NUMERO DE SALIDAS O ASPERSORES INSTALADOS EN LA
TUBERIA

NUMERO DE BOQUILLAS O NUMERO DE ASPERSORES	VALOR DE F	NUMERO DE BOQUILLAS O NUMERO DE ASPERSORES	VALOR DE F
1	1.000	16	0.377
2	634	17	375
3	528	18	373
4	480	19	372
5	451	20	370
6	433	21	369
7	419	22	368
8	410	23	367
9	402	24	366
10	396	25	365
11	392	26	364
12	388	27	364
13	384	28	363
14	381	29	363
15	379	30	362

FIGURA 34

TABLA 8

FIGURA 35

PERDIDAS POR ROZAMIENTO EN 100 mts. DE TUBERIA
 EN LINEAS DE ASPERSORES CON TUBERIA DE ALUMINIO
Y ACOPLAMIENTO A 9 mts. DE SEPARACION

Caudal L.P.M.	2" ϕ 50.8 m.m. $K_s = .34$	3" ϕ 76.2 m.m. $K_s = .33$	4" ϕ 101.6 m.m. $K_s = .32$	5" ϕ 127.0 m.m. $K_s = .32$	6" ϕ 152.4 m.m. $K_s = .32$
150	4,4	0,55	0,13		
200	7,6	0,92	0,18		
250	11,6	1,5	0,22		
300	16,4	2,1	0,48	0,15	
350	21,8	2,8	0,57	0,18	
400	28,0	3,5	0,65	0,21	0,09
450		4,5	1,0	0,33	0,14
500		5,5	1,3	0,41	0,17
600		7,7	1,5	0,49	0,24
700		10,3	2,4	0,69	0,28
750		11,8	2,7	0,88	0,36
800		13,4	3,1	1,0	0,41
900		16,6	3,8	1,2	0,52
1.000		19,2	4,4	1,4	0,59
1.100		24,3	5,6	1,9	0,70
1.200		28,8	6,6	2,1	0,87
1.300		33,5	7,7	2,5	1,0
1.400		38,4	8,9	2,9	1,2
1.500		43,9	10,1	3,3	1,4
1.600			11,4	3,7	1,5
1.700			12,8	4,1	1,7
1.800			14,3	4,6	1,9
1.900			15,7	5,1	2,1
2.000			17,6	5,7	2,3
2.300			21,6	7,0	2,9
2.400			24,7	8,0	3,3
2.600			28,7	9,2	3,8
2.800			33,0	10,7	4,4
3.000				11,3	5,1
3.200				13,9	5,7
3.400				14,9	6,4
3.600				17,0	7,1
3.800				19,1	7,9

Con el diámetro ya fijado en el caudal total Q l.p.m. que arroja el conjunto de aspersores se determina la pérdida H' en mts. utilizando la Tabla B (Fig. 35); si la separación entre uniones de tubo no es de 9 metros, caso de ser esta separación de 6 mts., se incrementa H' en un 7% y, si es de 12 mts., se disminuye en un 3%. Supongamos que la separación entre uniones es de 9 mts. y que la pérdida por 100 es H' mts.; con el número de aspersores se determina, usando la tabla A (Fig. 34), el coeficiente F siendo $F \times H'$ la pérdida corregida.

Si la elevación del aspersor sobre el terreno es H'' y la presión en boquilla de aspersores P Kg/cm², la altura de Presión media en cabeza de la línea de aspersores, en mts., será $= P \times 10 + 3/4 (H' \times F) + H''$.

El tomar los $3/4 (H' \times F)$, se debe a haber considerado dividida la longitud total del ala de aspersores en dos tramos, según el siguiente criterio:

1º) - $H' \times F$ es, según hemos dicho, la diferencia de presión admisible entre el primero y el último aspersor, cuya óptima presión de trabajo en boquilla es P .

2º) - Siendo más acusados los efectos perjudiciales de una presión deficiente, que los de una presión excesiva, se considera la conveniencia de que los aspersores del primer tramo trabajen con $3/4 (H' \times F)$ m. de exceso de presión sobre la normal, mientras que los del segundo tramo dispondrán de un defecto máximo de $1/4 (H' \times F)$ m. Como puede fácilmente verse, la diferencia total es la estipulada $H' \times F$.

2º Caso: Tendido de la línea de aspersores siguiendo una acusada pendiente en el terreno:

a) - Si hay elevación del terreno entre el primero y el último aspersor la pérdida admisible por rozamiento entre ellos será el 20% de la presión de trabajo en boquilla expresado en mts., menos el desnivel (A mts.) entre los extremos de la línea.

A partir de este dato se realiza el mismo cálculo del caso anterior para determinar el β de tubería: con este y el caudal, manejando el cuadro de la Tabla B (Fig. 35) en sentido inverso, obtendremos la pérdida por cada 100 mts. - H' , que resultará $H' \times F$, teniendo en cuenta el número de aspersores.

Altura de presión en cabeza de línea de aspersores $= P \times 10 + 3/4 (H' \times F) + 3/4 A + H''$. Para la repartición de presiones en el ala se ha adoptado el mismo criterio que en el caso primero.

b) - Si hay un descenso del terreno entre los dos aspersores extremos, las pérdidas admisibles por rozamiento entre los mismos será el 20% de la presión de trabajo, expresado en mts. más el desnivel (A mts.) entre los extremos de la línea.

Como la tabla B se refiere a tubos con uniones cada 9 mts., y el caso que estudiamos es cada 6 mts., habrá que incrementar H_p en un 7%.

La pérdida total resultará:

$$L \frac{(H_p + \frac{7 \times H_p}{100})}{100} \times F.$$

I.2.- Cálculo de la línea de aspersores con tendido siguiendo la pendiente del terreno.

1º Caso: Pendiente del terreno casi horizontal o mínima (caso en que el tendido de la línea de aspersores sigue la curva de nivel).

Para conseguir un trabajo efectivo de los aspersores, y, por tanto, — una distribución uniforme del agua sobre el terreno, es necesario que la diferencia de presión entre los dos aspersores extremos de la línea no sobrepase el — 20% de la presión normal de trabajo en boquilla; sea esta presión P . Para calcular el diámetro preciso en la tubería tomamos el 20% de P y lo pasamos, caso de estar expresado en Kg/cm^2 , a metros de altura: el 20% citado es $\frac{20P}{100}$ (en mts.). La pérdida anterior repartida a lo largo de la longitud total, L mts., de la tubería de aspersores cuyo diámetro deseamos calcular, representa un porcentaje de H m. de pérdida de carga por cada 100 m. recorridos.

Conocemos el número de aspersores N en la línea; Con este número en — la tabla A (Fig. 34) buscamos F . Dividimos H por F y el valor resultante, unido al del caudal total en l.p.m. que arroja el conjunto de aspersores N , será utilizado en el Tabla B (Fig. 35), previa la comprobación siguiente:

La tabla está confeccionada, como se indicó en el epígrafe anterior, para tubos con uniones o acoples distantes 9 mts.; si esa distancia fuera de 6 ó — 12 mts. (distintas a la anterior) se procede como sigue:

a) — H hay que disminuirlo en un 7% si las uniones o acoples van cada 6 m.; con el dato resultante y el del caudal se determina en la Tabla B (Fig. 35) el β preciso.

b) — Si los tubos son de uniones o acoples cada 12 mts. se aumenta H en un 3% y este valor, con el del caudal, se utiliza en la misma Tabla B (Fig. 35) para determinar el β .

Para calcular, partiendo del dato anterior (diámetro de la tubería), la presión en cabeza de la línea de aspersores (es decir, en su unión con la tubería principal), se sigue la norma siguiente:

La diferencia de altura entre los aspersores extremos, al ser en este caso favorable, permite reducir el diámetro de tubería precisa, así como las variaciones de presión a lo largo de la línea. Los ϕ de tubería se seleccionan normalmente a base de que las pérdidas por rozamiento igualen el desnivel favorable existente (A mts.)

A partir del 20% de la presión de trabajo en boquilla más el desnivel entre los extremos de la línea, determinamos el ϕ , con el cual se sigue el camino inverso para obtener la pérdida $H' \times F$.

Altura de presión en cabeza de línea de aspersores = $P \times 10 + 3/4 H'F - 3/4 A + H''$.

La representación gráfica de los casos expuestos se muestra en las figuras 36, 37, 38, correspondiendo la Fig. 36 a la línea de aspersores tendida en terreno horizontal, la Fig. 37 en terreno ascendente y la Fig. 38 en terreno descendente.

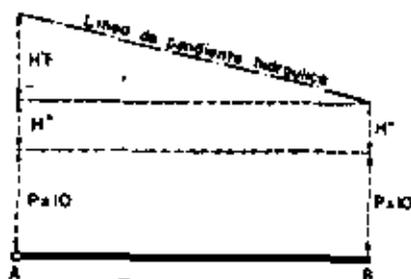


FIGURA 36

1º Caso (Fig. 36)

Tubería de regadores AB horizontal: La altura de presión en A cabeza de la línea, se compone de:
 $P \times 10$; Altura de presión en boquilla de aspersor.

$H'F$: Altura correspondiente a la pérdida de carga.

H'' : Altura del aspersor sobre el terreno.

La altura de presión en B es $P \times 10$, altura de presión en boquilla de aspersor, + H'' , altura del aspersor sobre el terreno.

2º Caso (Fig. 37)

Tubería de aspersores AB tendida en el sentido de la pendiente ascendente del terreno:

La altura de presión en A, cabeza de la línea, se compone de:

$P \times 10$; Altura de presión en boquilla de aspersor.

$H'F$: Altura correspondiente a la pérdida de carga.

A: Desnivel en mts. entre A y B.

H'' : Altura del aspersor sobre el terreno.

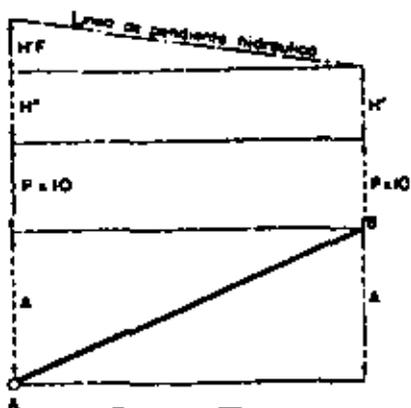


FIGURA 37

La presión en B es $P \times 10$, altura de presión en boquilla de aspersor, + H'' altura del aspersor sobre el terreno.

39 Caso (Fig. 38)

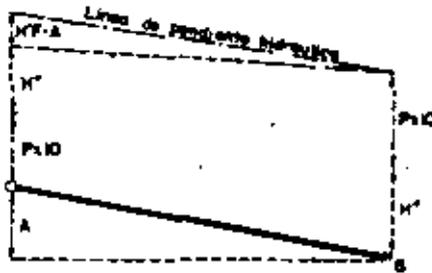


FIGURA 38

Tubería de aspersores AB tendida en terreno con pendiente descendente: En este caso la presión en A cabeza de la línea basta que sea: $P \times 10$ altura de presión del aspersor + altura H'' del aspersor sobre el terreno + $H' \times F$ pérdidas por rozamiento en la conducción - desnivel A en metros, favorable de A a B.

X.3.- Cálculo de una línea de aspersores compuesta de dos diámetros.

En los cálculos anteriores de la línea de aspersores, se ha supuesto - un sólo diámetro de tubería pero, a veces, conviene, para abaratar la instalación, proyectarla con dos diámetros. Este caso es raro, pues al empleo de dos diámetros exige utilizar piezas de reducción y, por tanto, complica la operación del tendido de la línea; sólo se adopta, en casos extremos, con dos diámetros y nunca con mayor número.

En el cálculo de líneas de aspersores con dos diámetros se usan las Tablas anteriores A y B (Figs. 34 y 35). Para ello se sigue el camino siguiente:

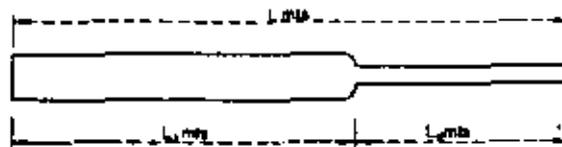


FIGURA 39

Tenemos una línea de aspersores (Fig. 39) de L mts., con N aspersores y caudal Q , que queremos proyectar con dos tramos de diámetros distintos, de longitudes L_1 y L_2 .

Como es lógico, se conoce la separación entre aspersores y por tanto - L_1 llevará N_1 y L_2 , N_2 , con caudales Q_1 y Q_2 .

En primer lugar se determina la pérdida total H , admisible entre extremos de la línea, que normalmente es el 20% de la presión en boquilla de aspersor disminuida o incrementada en el desnivel entre extremos (según se trate de tendido en pendiente ascendente o descendente).

Conocido ese valor H mts., con el número N total de aspersores determinados en la tabla correspondiente al coeficiente corrector F ; $\frac{H}{F}$, que se traducirá a %, es el dato a usar en la Tabla B (Fig. 35). Como L es la longitud de tubería total, $\frac{100 \times \frac{H}{F}}{L}$ es la pérdida en % (sin corregir, si los tubos tienen uniones a 9 mts.; disminuida en 7%, si estas uniones están a 6 mts., o incrementada en 3%, si las uniones están a 12 mts).

Con el dato $\frac{100 \times \frac{H}{F}}{L}$ (corregido o sin corregir, según el caso) y con el caudal Q total, se determinan en la citada tabla los diámetros por exceso y defecto admisible, d_1 y d_2 .

Se hace una primera estimación de L_1 mts. (con ϕd_1) y de L_2 mts. (con ϕd_2) y determinamos los respectivos números de aspersores por tramo, N_1 y N_2 , así como sus caudales, Q_1 y Q_2 :

Con Q_1 y ϕd_1 hallamos las pérdidas en el primer tramo por 100 mts. (con corrección del factor F según número de aspersores y longitud de tubo entre uniones), H_1 .

Con Q_2 y ϕd_2 id. id. en el segundo tramo, H_2 .

Se comprueba si la pérdida total que se produce es superior o inferior a la pérdida H total admisible. Si así fuera, repetir el cálculo, ajustando longitudes, hasta obtener concordancia.

El sistema a seguir para la comprobación del cálculo es el siguiente:

1ª) - Con los L_2 mts. del tramo final, con su ϕd_2 y con su caudal Q_2 (función del número de aspersores) tenemos las pérdidas $\frac{H_{d2} \times L_2}{100}$, según las tablas A y B (Figs. 34 y 35) con las correcciones del número de aspersores y de la separación de uniones precisas.

2ª) - Se supone que el ϕd_1 se instala en la longitud total de tubería - $L = L_1 + L_2$, con $N = N_1 + N_2$, número de aspersores, y $Q = Q_1 + Q_2$, caudal; se determinan las pérdidas totales $\frac{H_{d1} \times L}{100}$ con las correcciones.

3ª) - Se supone que en el tramo L_2 final se instala el ϕd_1 . Con este dato, el número de aspersores N_2 y Q_2 determinamos las pérdidas $\frac{H'_{d1} \times L_2}{100}$.

Sumamos la pérdida 1ª con la 2ª y restamos la 3ª.

$\frac{H_{d2} \times L_2}{100} + \frac{H_{d1} \times L}{100} - \frac{H'_{d1} \times L_2}{100}$. Este resultado es al que se contrastará con la pérdida admisible H . Caso de no coincidir se procede a un nuevo cálculo, ajustando longitudes y determinando número de aspersores y caudales para cada una, siguiendo después el procedimiento expuesto.

I.4.- Tubería de regadores con válvula de control de caudal a su entrada.

Hemos visto que en toda tubería madre o principal no debe haber, entre dos puntos de conexión con las ramas de aspersores que a ellas se unen, una diferencia de presión que exceda de $\frac{20 H}{100}$ (siendo H la presión de trabajo en boquilla de aspersor).

Como, por otra parte, la presión existente a la entrada de una línea cualquiera de aspersores no debe ser superior a $H + \frac{20 H}{100}$ nos encontramos que, cuando existen grandes desniveles o se precisan longitudes de línea principal — largas con ϕ comercial limitado, sobrepasamos las condiciones anteriores. Para obviar este inconveniente se colocan válvulas de regulación del caudal en el punto donde se acopla la línea de aspersores a la tubería madre o principal, Fig.40.

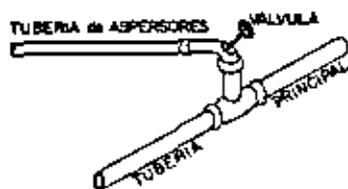


FIGURA 40

Estas válvulas permiten, con la colocación de un manómetro de presión a su salida, proporcionar a cada rama de aspersores acoplada en ella una presión no superior a $H + \frac{20 H}{100}$ siendo H la altura de presión de trabajo normal en la boquilla. Se independiza pues esta carga de la que pueda existir en ese punto de la tubería madre.

Por otra parte, cuando se riegan cultivos arbóreos o arbustivos (en laderas fuertes) ó praderas (que admiten aspersores de gran caudal, ó pluviometría horaria, y alcance) puede ocurrir que la diferencia de presión, debida a desniveles y pérdidas por rozamiento entre dos posiciones extremas, sea muy superior a la admisible $\frac{20 H}{100}$. En estos casos, se instala la válvula de paso en el pie de aspersor, como indica la Fig. 41.

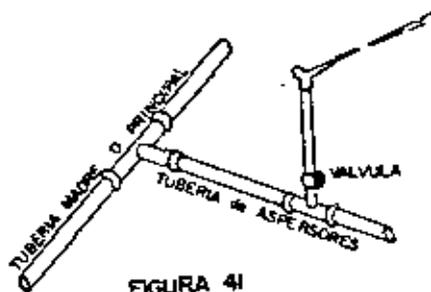
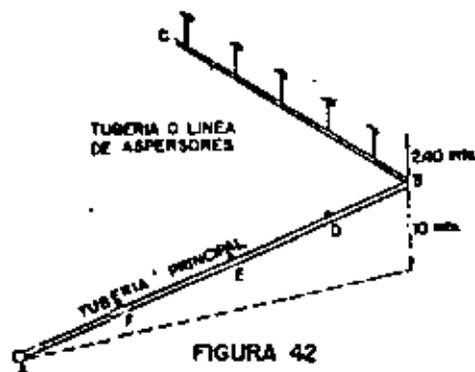


FIGURA 41

Damos un ejemplo como aclaración de las normas anteriores:

Tenemos una tubería principal AB; el desnivel — del terreno entre las dos conexiones extremas de esa tubería con las líneas de aspersores es 10 m. en pendiente ascendente (Fig. 42); el número de aspersores en la línea es 40, con presión de trabajo en boquilla H de 3 Kg/cm^2 , lo que permite —

una diferencia de presión entre dos aspersores extremos de $\frac{20 \times 30}{100} = 6 \text{ mts.} < > 0,6 \text{ Kg/cm}^2$.



La altura del aspersor sobre el terreno, para regar cultivos altos, es 2,40 mts.; su caudal de descarga 88 litros por minuto.

Hay que calcular la presión necesaria en A (hidrantes o toma de la tubería principal) para colocar en B una presión mínima de H mts.

La pérdida de presión admisible entre los dos aspersores extremos de la línea de aspersores BC -

es: $\frac{20 H}{100}$, siendo H la presión de trabajo en boquilla de aspersor. Por tanto, la presión necesaria en B, cabeza de la línea de aspersores, para que la presión en C sea H, habrá de ser: $H + \frac{20 H}{100}$.

Como la línea de aspersores se va instalando a lo largo de la tubería principal AB (en las posiciones D, E, F y A) tendremos que, cuando la línea está en B, la presión en A necesaria será la anterior $H + \frac{20 H}{100}$, más el desnivel de 10 mts. existente entre A y B, más las pérdidas por rozamiento en el trayecto de la tubería AB. Pero entonces, cuando se instale la tubería de regadores en A nos encontraremos aquí con esa misma presión de $H + \frac{20 H}{100} + 10 +$ pérdidas por rozamiento de A a B, que excede a la necesaria en este punto en: $10 +$ pérdidas.

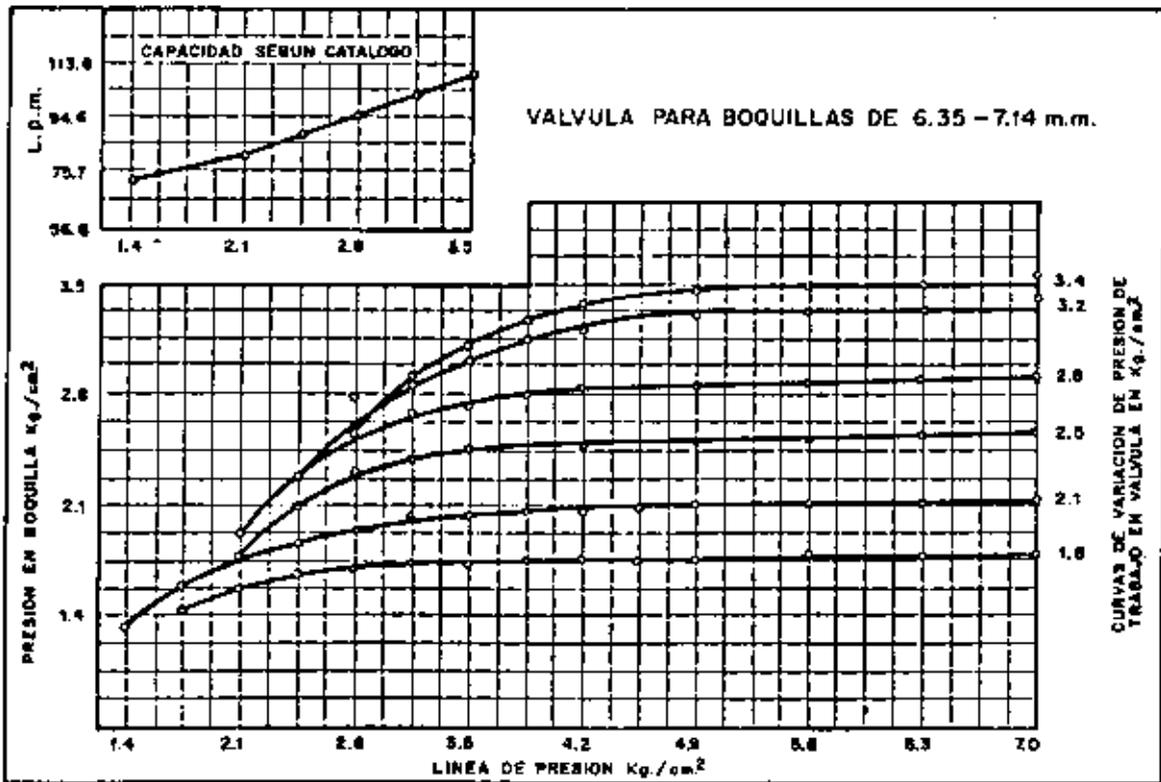
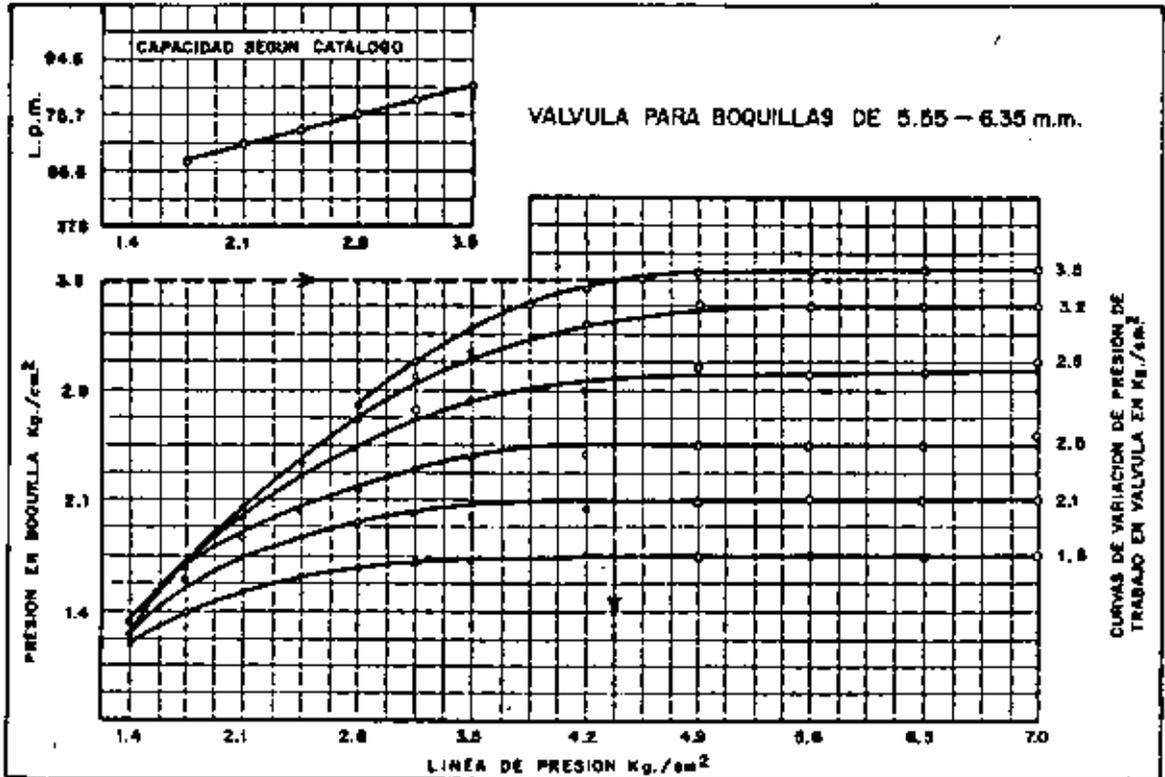
En el caso de los datos dados, y no colocando válvula a la salida de la línea de aspersores, existiría en A un exceso de presión de $1 \text{ kg/cm}^2 +$ pérdida en AB, superior a la admisible para un buen funcionamiento del aspersor ($0,6 \text{ kg/cm}^2$)

En el ejemplo dado, el caudal total que ha de transportarse de A a B, - caso de disponer la línea de regadores en B, es $40 \times 88 \text{ l.p.m.}$ El cálculo normal del ϕ de tubería de AB, se basaría en una pérdida por rozamientos a lo largo de la misma de un 20% de la presión normal de trabajo ($0,6 \text{ kg./cm}^2$).

Ahora es preciso añadir la sobrepresión necesaria en B para compensar la pérdida por la válvula (para que el agua, una vez pasada ésta, tenga la presión $H = 3 \text{ kg/cm}^2$. de trabajo necesario). Acompañamos en el cuadro adjunto, dos modelos de gráficos de variación de presión en este tipo de válvulas.

Por tanto la presión máxima en A, cuando la rama está en B = Presión en boquilla del aspersor ($H = 3 \text{ kg/cm}^2$) + Pérdidas por rozamiento en AB ($\frac{20 H}{100} = 0,6 \text{ kg/cm}^2$.) + Presión para compensar desnivel de 10 mts. entre A y B (1 kg/cm^2) + Presión para compensar la pérdida por la válvula instalada en B ($\frac{K V^2}{2g}$) + presión para compensar los 2,4 mts., de la elevación del aspersor sobre el terreno - $0,24 \text{ kg/cm}^2$.)

Para el cálculo de las pérdidas de presión por válvulas, o incrementos de presión precisos para compensarlas, damos, en el correspondiente epígrafe, las fórmulas y ábacos de uso normal.



En el caso de líneas de aspersores con válvula de control en la base - de estos, para obtener presiones dentro de los límites normales en sus boquillas, la presión en la cabeza de la línea se compone de las siguientes presiones parciales:

- a) - Altura de presión de trabajo en boquilla del aspersor $P \times 10$ mts. (dando P en Kg/cm^2).
- b) - Altura del aspersor sobre el terreno H'' .
- c) - Altura de las pérdidas por rozamiento H .
- d) - Altura debida a válvula de control H''' .

Siendo $H \times F$ las pérdidas debidas a rozamiento (con el factor de corrección según número de aspersores), la altura de presión necesaria en cabeza de línea es: $P \times 10 + H'' + H \times F + H'''$, incrementada ó disminuida en el desnivel del terreno según se trate de tendido en pendiente ascendente o descendente, como se indicó en el epígrafe X.2.-

TABLA DE RENDIMIENTO PARA TUBERIAS PERFORADAS

TABLA C (FIGURA 43)

Presión Kp./cm ²	TUBERIA DE 5" ó 127,0 mm. con una PLUVIOMETRIA DE 25,4 m.m/hora																			
	LONGITUD EN METROS																			
	15,2	30,5	45,7	61,0	76,7	91,4	106,7	121,9	137,2	152,4	167,6	182,9	198,1	213,4	228,6	243,8	259,1	274,3	289,6	
0,42	L.p.m.	60,6	121,1	181,7	242,3	302,8	363,4	424,0	484,7	545,3	605,9	666,5	727,1	787,7	848,3	908,9	969,5	1030,1	1090,7	
	Ancho de cubrición	9,1	9,1	9,2	9,1	9,1	9,1	9,1	8,8	8,8	8,8	8,8	8,5	8,5	8,5	8,2	8,2	7,9	7,9	
0,49	L.p.m.	64,3	128,7	193,1	257,4	321,8	386,1	450,5	514,8	579,2	643,5	707,9	772,3	836,7	901,1	965,4	1029,8	1094,2	1158,6	
	Ancho de cubrición	10,1	10,1	10,1	10,1	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,4	9,4	9,4	9,1	9,1	8,8	8,8	8,5	
0,56	L.p.m.	68,1	136,3	204,4	272,5	340,7	408,8	477,0	545,1	613,2	681,4	749,5	817,7	885,8	953,9	1022,1	1090,2	1158,4	1226,5	
	Ancho de cubrición	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,4	10,4	10,4	10,4	10,1	10,1	10,1	9,7	9,7	9,4	9,1	
0,63	L.p.m.	71,9	143,8	215,6	287,7	359,6	431,5	503,5	575,4	647,3	719,2	791,1	859,3	927,4	995,6	1063,7	1128,1	1192,4	1256,8	
	Ancho de cubrición	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,0	11,0	11,0	10,7	10,7	10,7	10,4	10,4	10,1	9,7	
0,70	L.p.m.	75,7	151,4	227,1	302,8	378,5	454,2	530,0	605,7	681,4	757,1	832,8	908,5	984,2	1059,9	1135,6	1211,3	1287,0	1362,7	
	Ancho de cubrición	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,6	11,6	11,6	11,6	11,3	11,3	11,3	11,0	11,0	10,7	10,7	10,4	
0,77	L.p.m.	79,5	159,0	238,5	318,0	397,5	477,0	556,5	635,9	715,4	794,9	874,4	953,9	1033,4	1112,9	1192,4	1271,9	1351,4	1430,9	
	Ancho de cubrición	12,7	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	11,9	11,9	11,9	11,6	11,6	11,3	11,3	11,0	11,0	
0,84	L.p.m.	83,3	166,6	249,8	333,1	416,4	499,7	583,0	666,2	749,5	832,8	916,1	999,4	1082,7	1166,0	1249,3	1332,6	1415,9	1499,2	
	Ancho de cubrición	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,2	12,2	12,2	11,9	11,9	11,9	11,6	11,3	
0,91	L.p.m.	87,1	174,1	261,2	348,3	435,3	522,4	609,4	696,5	783,6	870,6	957,7	1044,8	1131,9	1219,0	1306,1	1393,2	1480,3	1567,4	
	Ancho de cubrición	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	12,8	12,8	12,8	12,8	12,5	12,5	12,5	12,2	12,2	11,9	11,9	11,6	
0,98	L.p.m.	90,8	181,7	277,5	363,4	454,2	545,1	635,9	726,8	817,6	908,5	999,4	1090,3	1181,2	1272,1	1363,0	1453,9	1544,8	1635,7	
	Ancho de cubrición	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,1	13,1	13,1	13,1	12,8	12,8	12,8	12,5	12,5	12,2	12,2	
1,05	L.p.m.	94,6	189,3	285,9	378,5	475,2	567,8	662,4	753,3	844,1	935,0	1025,8	1116,7	1207,6	1298,5	1389,4	1480,3	1571,2	1662,1	
	Ancho de cubrición	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,4	13,4	13,4	13,1	13,1	12,8	12,8	12,5	12,5	
1,13	L.p.m.	98,4	196,8	295,3	393,7	492,1	586,7	681,4	776,0	870,6	965,3	1059,9	1154,6	1249,3	1344,0	1438,7	1533,4	1628,1	1722,8	
	Ancho de cubrición	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	13,7	13,7	13,4	13,4	13,1	13,1	12,8	12,8	
1,19	L.p.m.	99,4	196,8	295,3	393,7	492,1	590,5	688,9	787,4	885,8	984,2	1082,6	1177,3	1271,9	1366,5	1461,1	1555,7	1650,3	1744,9	
	Ancho de cubrición	14,6	14,6	14,6	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,0	14,0	14,0	13,7	13,7	13,4	13,1	13,1	
1,27	L.p.m.	102,2	204,4	306,6	408,8	511,0	613,2	715,4	817,6	919,9	1021,3	1116,7	1215,1	1313,5	1408,2	1502,8	1597,4	1692,0	1786,6	
	Ancho de cubrición	14,9	14,9	14,9	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,3	14,3	14,3	14,0	14,0	13,7	13,4	13,4	
1,33	L.p.m.	106,0	212,0	318,0	424,0	530,0	635,9	741,9	847,9	950,1	1052,3	1154,6	1256,8	1355,2	1453,6	1552,0	1646,7	1741,3	1835,9	
	Ancho de cubrición	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,6	14,6	14,6	14,3	14,3	14,0	13,7	13,7	
1,41	L.p.m.	109,8	219,5	329,3	439,1	548,9	654,9	760,9	866,9	972,8	1078,8	1184,8	1287,0	1389,2	1491,5	1589,9	1688,3	1786,7	1881,4	
	Ancho de cubrición	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	14,9	14,9	14,9	14,6	14,6	14,6	14,3	14,0	14,0	

XI.3.- Otras fórmulas y ábacos para el cálculo de las líneas de aspersores.

El cálculo de la línea de aspersores está basado en la pérdida de presión admisible entre los dos aspersores extremos, el número de éstos, su caudal, separación entre ellos en el tendido y diámetro de la tubería.

Múltiples son las fórmulas y ábacos publicados para facilitar el cálculo de las líneas de aspersores. En este epígrafe se da una recopilación de los mismos como complemento de los ábacos dados en páginas anteriores.

En primer lugar damos el ábaco que figura en el Boletín nº 212 (Mayo - de 1.951) del Instituto de Tecnología del Estado de Washington (Estados Unidos - de America), realizado por M.R. Carstens, (Fig. 44); sus variables son las siguientes:

- a) - Número de aspersores en la línea.
- b) - Diámetro de la tubería de aspersores.
- c) - Separación entre éstos.
- d) - Características de descarga de cada aspersor, expresada por la relación entre su descarga y la del primero en la línea ⁽¹⁾.
- e) - Relación entre las presiones en boquilla del enésimo aspersor y el primero (p_n/p_1).

El cuadro de la parte derecha superior, da curvas con los diámetros de tuberías de aspersores de 50 a 125 mm. figurando también aquí los números límites de aspersores que cada diámetro puede admitir normalmente y que son:

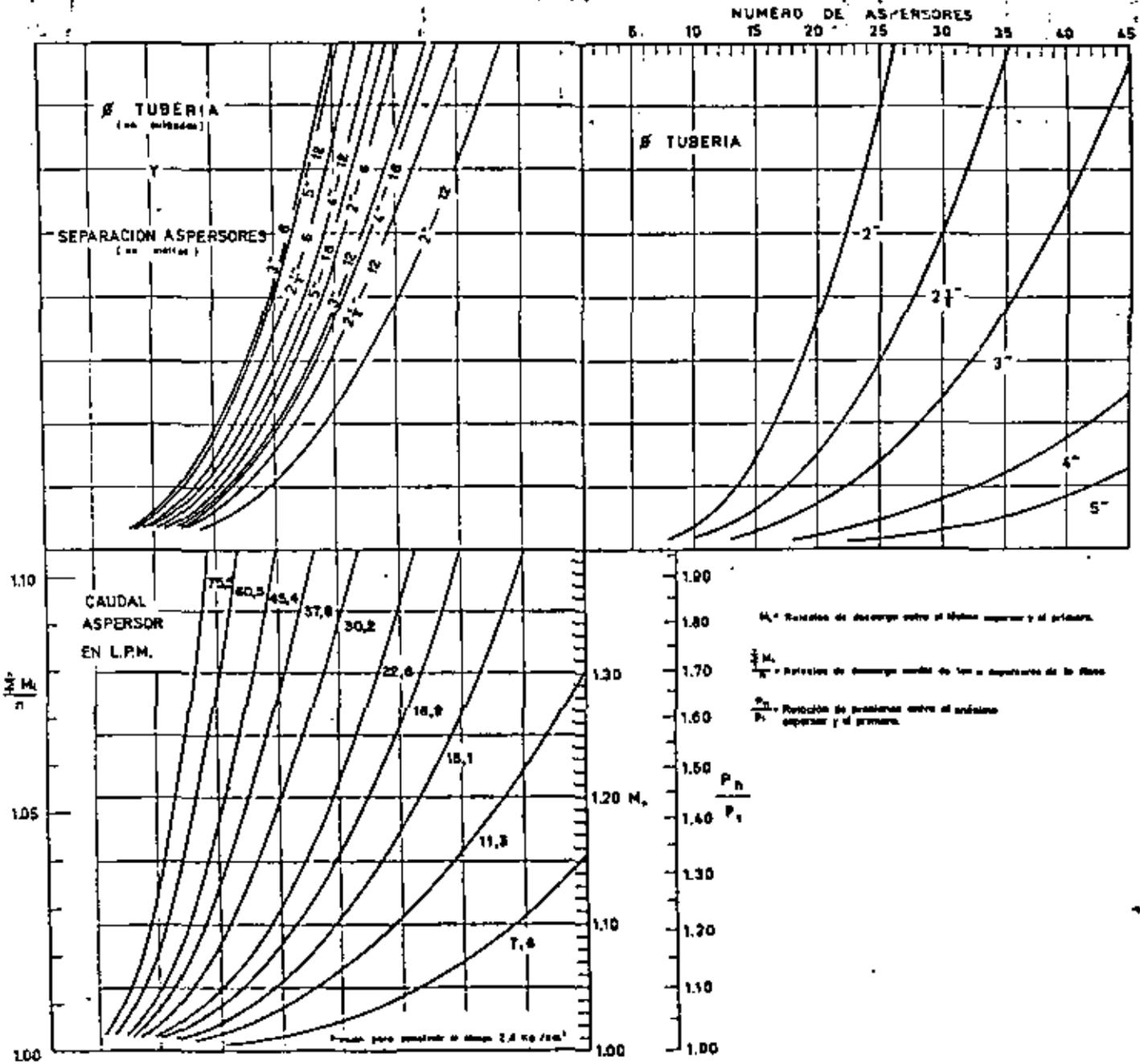
Con tubería de	50 mm	.....	27	aspersores.
"	"	" 64 mm	.....	36 "
"	"	" 75 mm	.....	45 "
"	"	" 100 mm	.....	45 "
"	"	" 125 mm	.....	45 "

(Un número de aspersores superior a 45 no es normal)

En el cuadro de la parte superior de la izquierda figuran curvas que unen los diámetros normales en tuberías de aspersores con la separación también normal que debe existir entre los mismos. Estas separaciones son:

(1) Para el manejo de este ábaco, los aspersores se numeran a partir del situado en el final de la línea lateral que los soporta, es decir, que el primero es el más alejado del punto de enlace de la línea lateral con la principal.

FIGURA 44



40

Para tubería de	50 mm	.....	6 y 12 mts.
"	"	de 64 mm.	..... 6 y 12 mts.
"	"	de 75 mm	..... 6 y 12 mts.
"	"	de 100 mm	..... 12 y 18 mts.
"	"	de 125 mm	..... 12 y 18 mts.

Estas curvas han sido establecidas a partir de líneas laterales de aluminio, con los resultados de pruebas de fricción en tuberías realizadas en el Departamento de Investigación Industrial del Estado de Washington.

El cuadro inferior de la izquierda muestra curvas para los caudales de descarga normales en los aspersores, computados para una presión de trabajo en boquilla de $2,8 \text{ Kg/cm}^2$ (lo que no es obstáculo para la utilización del ábaco con otras presiones).

En este cuadro la escala vertical izquierda da la relación de descarga media de los n aspersores (cociente entre la suma de caudales que cada uno arroja según la posición en la línea y al número de éstos por el caudal del primero).

La 1ª escala vertical derecha da M_n relación entre el caudal de descarga del último aspersor de la línea y el del primero; la 2ª escala vertical derecha da p_n/p_1 , relación entre presiones de boquilla de los citados aspersores.

El manejo de este ábaco es el siguiente:

a) - Nos dan ya elegido al número n de aspersores precisos en la línea y el tipo de este (presión en boquilla en Kg/cm^2 , caudal y separación en la línea); - asimismo el ϕ de la tubería.

b) - Nos piden caudal medio que arroja cada aspersor de la línea, diferencia de caudal entre el aspersor de cabeza y el último y diferencia de presión entre ambos.

En la línea horizontal del cuadro superior de la derecha del ábaco se toma el número de aspersores; por él se hace descender, una vertical hasta su encuentro con la curva del ϕ de tubería; por este punto una horizontal hasta su encuentro con la curva de diámetro y separación; del cuadro superior de la izquierda; por este punto una vertical hasta el encuentro con la curva de descarga del aspersor; por este punto una horizontal a derecha e izquierda:

A la izquierda tendremos, con arreglo a la descarga del aspersor con presión normal en boquilla, la relación de descarga media entre el n (aspersor con presión normal que es el primero de la línea); a la derecha, en la 1ª línea vertical, la relación entre la descarga del último y del primer aspersor; en la segunda línea vertical derecha la relación de presión entre el último y el primer aspersor.

Quiere esto decir que, si el aspersor dá un caudal q l.p.m. para una presión normal de p_1 Kg/cm², esta presión debe existir en el aspersor más alejado de la línea principal. Resultará entonces:

1º) - Si la relación de descarga media dada por el ábaco es:

$$\frac{\sum M_i}{n} = r_1$$

el caudal medio de descarga será:

$$\frac{\sum M_i}{n} \times q = r_1 \times q$$

2º) - El caudal o descarga del último aspersor será $r_3 \times q$, siendo r_3 el valor de M_n dado por el ábaco.

3º) - La presión del último aspersor será $P_n = r_2 \times p_1$, siendo r_2 el valor en el ábaco de $\frac{pn}{p_1}$.

Los problemas de aplicación que puede resolver este ábaco son:

1º) - Nos dan número de aspersores, separación entre ellos y ϕ de la tubería, así como la presión p en Kg/cm² normal del aspersor y su caudal q en l.p.m.

Nos piden: a) - presión en último aspersor con la normal en el primero; b) - caudal en el último aspersor con el normal en el primero y caudal medio de descarga de la línea; por último, c) potencia precisa.

2º) - Nos dan la diferencia de presión máxima admisible entre dos aspersores extremos, en % de la normal de trabajo, la presión y caudal normal en el aspersor adoptado, diámetro de la tubería y separación de aspersores.

Nos piden número de aspersores precisos.

Son datos p % de diferencia de presión admisible.

Si p_1 es la normal en el primero, $p_1 + \frac{p \times p_1}{100}$ es la del último - -
máxima = $p_1 \left(\frac{100 + p}{100} \right)$.

$\frac{p_1 (100 + p)}{100} = \frac{pn}{p_1}$; con este dato se recorre el ábaco en forma inversa a la expuesta anteriormente.

3º) - Nos dan una línea de aspersores de l mts. con separación de b mts. entre ellos. Esta línea se compone de dos tramos de las longitudes y diámetros siguientes: $1/2$ de ϕ d , y $1/2$ ϕ d' , siendo $d' < d$; la presión en boquilla del -

aspersor es p Kg/cm² y el caudal q , en l.p.m., según catálogo.

El catálogo, para una presión superior a la anterior p y próximo el aumento a $\frac{20p}{100}$, nos dá un caudal q' en l.p.m.

Nos piden las características hidráulicas de cada tramo de tubería: -

1º) Estudiamos la tubería de menor diámetro d' .

Tenemos número de aspersores $\frac{l/2}{b} = n$.

Con el ábaco, determinamos, para el valor q' la relación

$$\frac{\sum Mi}{n} = \frac{\text{caudal medio de descarga por aspersor en la línea}}{\text{caudal de descarga primer aspersor}} = r_1$$

En este coeficiente el caudal del primer aspersor es q , con presión p .

$$\frac{p_n}{p_1} = \frac{\text{presión del último aspersor}}{\text{presión del primer aspersor}} = r_2$$

presión del primer aspersor es la p adoptada como normal.

$$M = r_3 = \frac{\text{caudal del último aspersor}}{\text{caudal del primer aspersor}} - (2)$$

El caudal del primer aspersor es q como se ha indicado anteriormente. Por tanto presión en el último aspersor el p_n de la línea d' :

$p_n = p_1 \times r_2 = p \times r_2$ (1) ya que el p_1 , presión del primer aspersor es p , presión nominal de trabajo adoptada.

Descarga total en esta rama = n (número de aspersores) $\times q \frac{\sum Mi}{n}$ (caudal medio de descarga por aspersor) = $n \times q \times r_1 = Q$. l.p.m.

2º) Veamos el número equivalente de aspersores en la línea de ϕ d , que descargue el caudal Q anterior.

Esta línea debe descargar el mismo caudal anterior Q l.p.m. total.

La presión en el último aspersor de esta línea es (1) $p \times r_2$, tomado como valor para una primera aproximación para el promedio de descarga en los aspersores de la línea de ϕ d . El número aproximado de aspersores preciso es como sigue:

La descarga del aspersor último de la línea de ϕ d' es $q \times r_3$ según (2). Este valor sirve como primera aproximación para el caudal medio de descarga por aspersor en la línea de ϕ d .

Número aproximado de aspersores en la línea equivalente de ϕ d : $\frac{Q}{q \times r_3} = n'$. Este número debe ser contrastado en el ábaco, haciendo la observación, que puede admitirse para n' valor no entero pero que sea siempre la parte decimal de un aspersor.

Con n' aspersores y utilizando el ábaco tenemos:

$$\frac{\sum M}{n} = r_4 \text{ siendo } q'_1 \text{ el caudal de descarga en el primer aspersor.}$$

$\frac{p'_n}{p'_1} = r_5$ siendo en este caso p'_n el valor de la presión obtenida en -
(1) para el último aspersor de la línea ϕ d'; $p_n = p r_2$.

Luego $p'_1 = \frac{p'_n}{r_5} = \frac{p r_2}{r_5}$ (3) = presión en el primer aspersor de la línea de ϕ d.

Sabemos, que el caudal que arroja un aspersor es $Q = C A \sqrt{2gh}$ siendo C = coeficiente de contracción, A = sección del orificio de la boquilla, h la presión en boquilla en metros.

Por tanto, según los datos previos, con presión p según catálogo tenemos caudal q en l.p.m., luego con presión p'_1 calculada en (3), caudal q'_1 es :

$$\frac{q'_1}{q} = \frac{C A \sqrt{2gh'}}{C A \sqrt{2gh}} \quad (4).$$

h' y h se pasan a Kg/cm^2 multiplicando ambos miembros por el peso específico, que es idéntico, luego (4) queda:

$$\frac{q'_1}{q} = \sqrt{\frac{p'_1}{p}} \quad q'_1 = q \sqrt{\frac{p'_1}{p}}$$

Por lo tanto la línea lateral está ahora compuesta de n aspersores en la línea de ϕ d primera y la línea de n aspersores con ϕ d' se sustituye por n' aspersores en ϕ d. Es lo mismo que estudiar $n + n'$ aspersores con ϕ d.

Con estos datos el ábaco nos da:

$$\frac{\sum M}{n} = r_6$$

$$\frac{p_n}{p_1} = r_7$$

y descarga q'' del primer aspersor de esta línea el q'_1 calculado anteriormente.

$$\text{Descarga total} = r_6 \times q'_1 (n + n')$$

p_1 en esta línea es el p'_1 calculado anteriormente; p_n = presión en el último aspersor $p_n = p'_1 \times r_7$.

Porcentaje de diferencia de presión

$$\frac{p'_1 \times r_7 - p}{p} \text{ (presión nominal adoptada por el primer aspersor)}$$

Ejemplo numérico:

Nos dan una línea de aspersores de 240 mts. de longitud total con separación entre aspersores de 6 mts.

$$l = 240 \text{ mts.} \quad b = 6 \text{ mts.}$$

Esta línea se compone de dos tramos de longitudes iguales de 120 mts. y diámetros $d = 3''$ y $d' = 2''$.

Los aspersores en esta línea deben trabajar de forma que el primer aspersor o el situado al final aguas abajo tenga una presión $p = 2,45 \text{ Kg/cm}^2$.

El catálogo del aspersor a emplear da los caudales siguientes según presiones:

2,45 Kg/cm ²	.....	15,52 l.p.m.
3,10 "	.....	16,65 l.p.m.

Estudiamos las características hidráulicas de cada tramo de tubería.

1º) - La tubería de menor diámetro $d' = 2''$.

$$\text{Número de aspersores } \frac{120}{6} = 20$$

Con el ábaco determinamos, para 16,65 l.p.m. de caudal en el aspersor y estos en número de 20 en la línea 2" a 6 mts. de separación, los coeficientes siguientes:

$$\frac{\sum M_i}{n} = r_1 = 1,028$$

$$\frac{pn}{p_1} = r_2 = 1,23$$

$$M_n = r_3 = 1,11$$

Por lo tanto la descarga en esta línea es:

$$Q = n \times q \times r_1$$

Siendo: $n = 20$ aspersores, $q = 15,52 \text{ l.p.m.}$ y $r_1 = 1,028$, resultará:

$$Q = 20 \times 15,52 \times 1,028 = 319,09 \text{ l.p.m.}$$

Asimismo la presión en el aspersor 20 es:

$$p_{20} = 1,23 \times 2,45 = 3,01 \text{ Kg/cm}^2.$$

2º) - Determinamos el número equivalente de aspersores en la línea de 3" que descarga 319,09 l.p.m.

La descarga en el último aspersor de la línea de 2" es $q \times r_3 = 15,52 \times 1,11 = 17,07 \text{ l.p.m.}$ Tomamos este caudal como medio para una primera aproxima-

ción en la línea de 3". Entonces, el número aproximado de aspersores en la línea lateral equivalente de 3" será:

$$\frac{Q = 319,09 \text{ l.p.m.}}{q \times r_3 = 17,07 \text{ l.p.m.}} = n' = 18,6$$

Número que hay que contrastar en el ábaco: para ello, con 18,6 aspersores, tubería de 3" y separación de aspersores de 6 mts., así como caudal de descarga por aspersor 17,07 l.p.m., tenemos:

$$\frac{\sum \frac{M_i}{n}}{n} = r_4 = 1,002$$

$$\frac{p'_n}{p'_1} = r_5 = 1,01$$

En este caso la presión en el último aspersor p'_n de la línea de 3" es 3,01 Kg/cm²; presión del último de la línea de 2" obtenido anteriormente.

$$\text{Luego } p'_1 = \frac{3,01}{1,01} = 2,98 \text{ Kg/cm}^2$$

Como para una presión p de 2,45 Kg/cm² el caudal del aspersor es 15,52 l.p.m., para una presión de 2,98 el caudal q'_1 es:

$$q'_1 = 15,52 \sqrt{\frac{2,98}{2,45}} = 17,07 \text{ l.p.m.}$$

Luego el número de aspersores es $\frac{Q}{1,002 \times 17,07} = 18,6$

Luego es válido.

La línea que estudiamos está ahora compuesta de 20 aspersores en la línea de 3" y 18,6 en la equivalente de 3" a la de 2".

Las características de esta línea con 38,6 aspersores y diámetro de 3", con una descarga en el primer aspersor q'_1 de 17,07 l.p.m. da en el ábaco:

$$\frac{\sum \frac{M_i}{n}}{n} = 1,021 = r_6$$

$$\frac{p_n}{p_1} = 1,17 = r_7$$

La descarga total será $r_6 \times q'_1 \times 38,6 = 1,021 \times 17,07 \times 38,6 = 672,7$ l.p.m.; la presión en el último aspersor será $p_n = r_7 \times p_1$ (siendo p_1 el $p'_1 = 2,98$ de antes) $= 1,17 \times 2,98 = 3,45 \text{ Kg/cm}^2$.

La variación de presión es

$$\frac{p'_1 \times r_7 = 3,45 - p = 2,45}{p = 2,45} \times 100 = 42,4\%$$

XI.4.- Abaco basado en la fórmula de Hazen-Williams.

Hemos visto, exponiendo el cálculo de la línea de aspersores por la fórmula de Scobey's, que las pérdidas por rozamiento en estas líneas dependen del caudal total que circulará por la rama y del número y separación de los aspersores a lo largo de ella.

La Tabla I (Fig. 45) da las pérdidas de carga por rozamiento en tuberías de aluminio o hierro, en % de su longitud. Ha sido establecido mediante la utilización de la fórmula de Hazen-Williams:

$$V = 0,85 \times C \times R^{0,63} \times I^{0,54}$$

Siendo : R= radio hidráulico en mts.

I= pendiente hidráulica en mts. por metro

V= velocidad en m/seg.

C= coeficiente de rugosidad, variable según el material de la conducción. Para la confección de la Tabla se ha tomado el valor 120, cifra usada normalmente en las tuberías de aspersores de acero o aluminio, con acoplas.

Ahora bien, los datos de la Tabla I son para conducciones sin salidas que conducen en todo su recorrido el caudal uniforme total; en el caso de líneas de aspersores, las pérdidas allí indicadas, deben afectarse por un coeficiente que depende del número de aspersores.

Los factores mencionados son, según indica J.E. Christiansen en el Boletín nº 670 de la Universidad de California, los siguientes:

<u>Número de aspersores</u>	<u>Factor</u>
1	1
2	0,625
3	0,518
4	0,469
5	0,440
6	0,421
7	0,408
8	0,398
9	0,391

TABLA I

PERDIDAS POR ROZAMIENTO EN % PARA TUBERIAS DE ALUMINIO O HIERRO

	50	75	100	125	150	175	200	250	300
38	0.32	0.04							
76	1.20	0.15	0.04						
114	2.59	0.32	0.08						
152	4.52	0.56	0.13	0.04					
190	6.87	0.85	0.20	0.07	0.03				
228	9.77	1.21	0.28	0.09	0.04				
265	12.85	1.67	0.38	0.12	0.05				
303	16.71	2.06	0.49	0.16	0.06	0.03			
341	20.82	2.58	0.60	0.20	0.08	0.04			
379	25.43	3.18	0.74	0.24	0.10	0.05	0.03		
455		4.52	1.06	0.34	0.14	0.07	0.04		
530		6.00	1.41	0.46	0.19	0.09	0.05		
606		7.75	1.82	0.59	0.24	0.11	0.06		
682		9.68	2.27	0.73	0.30	0.14	0.07		
758		11.84	2.78	0.89	0.36	0.17	0.09		
833		14.12	3.31	1.07	0.44	0.20	0.11		
909		16.73	3.81	1.27	0.52	0.24	0.13		
985		19.43	4.56	1.47	0.60	0.28	0.16		
1.060		22.40	5.26	1.71	0.69	0.33	0.17		
1.136		25.46	5.98	1.93	0.79	0.37	0.19	0.07	
1.325			8.03	2.59	1.05	0.50	0.26	0.09	0.03
1.515			10.37	3.33	1.35	0.64	0.33	0.12	0.04
1.704			12.90	4.15	1.68	0.80	0.41	0.14	0.05
1.893			15.73	5.07	2.06	0.97	0.50	0.16	0.06
2.082			19.12	6.16	2.56	1.18	0.62	0.19	0.07
2.272			22.47	7.24	2.94	1.38	0.72	0.21	0.09
2.461			26.10	8.42	3.41	1.62	0.84	0.26	0.11
2.650				9.98	3.82	1.86	0.97	0.30	0.13
2.840				11.05	4.46	2.11	1.10	0.35	0.15
3.029				12.48	5.03	2.35	1.24	0.39	0.17
3.218				13.96	5.64	2.67	1.39	0.44	0.19
3.407				15.65	6.33	2.98	1.55	0.49	0.21
3.597					7.02	3.32	1.73	0.54	0.23
3.786					7.72	3.67	1.90	0.60	0.26
4.164					9.22	4.37	2.27	0.72	0.30
4.543					10.88	5.16	2.68	0.85	0.35
4.922					12.62	5.96	3.10	0.99	0.40
5.300					14.65	6.90	3.60	1.15	0.46
5.679					16.67	7.87	4.07	1.29	0.53
6.057						8.89	4.62	1.47	0.60
6.436						9.95	5.16	1.66	0.67
6.814						11.15	5.79	1.84	0.75
7.193							6.42	2.05	0.83
7.571							7.10	2.26	0.92
9.464								3.60	1.43
11.357								5.10	2.05
13.249								6.85	2.75
15.142								8.33	3.57

FIGURA 45

<u>Número de aspersores</u>	<u>Factor</u>
10	0,385
11	0,380
12	0,376
13	0,373
14	0,370
15	0,367
16	0,365
17	0,363
18	0,361
19	0,360
20	0,359
22	0,357
24	0,355
25	0,353
28	0,351
30	0,350
35	0,347
40	0,345
50	0,343
100	0,338
200	0,333

La Tabla I tiene unas zonas coloreadas que indican que en ellas las velocidades son superiores a 3 m/seg. Caso de encontrar en estas zonas rayadas la pérdida de carga que buscamos, debemos pasar a un diámetro mayor de tubería que coloque la pérdida de carga fuera de la zona mencionada.

Las zonas sin rayar son para velocidades entre 1,50 a 3 m/seg. Cuando la pérdida que se busca cae en el límite de esta zona con la rayada, debe procurarse sustituir asimismo la tubería por otra de diámetro mayor.

Estas tablas son usadas por la Compañías de aluminio de Estados Unidos. Un ejemplo del uso de la Tabla I (Fig. 45) es el siguiente:

Nos dan una tubería de ϕ 4" con 20 aspersores separados 12 mts. y caudal ó descarga por aspersor de 40 l.p.m.

La capacidad total es 800 l.p.m. y para esta capacidad y ϕ 4" la Tabla I nos dá una pérdida por ciento aproximada de 2,78.

$$\text{Pérdida total } \frac{2,78 \times 240}{100} \text{ mts. y en Kg/cm}^2 \frac{2,78 \times 240}{1.000}$$

Ahora bien, el coeficiente corrector, según el número de aspersores utilizando el cuadro dado anteriormente, es 0,359. Por tanto:

$$\text{Pérdida} = \frac{2,78 \times 240}{100} \times 0,359 \text{ mts. (o esta cifra dividida por 10 en -- Kg/cm}^2\text{).}$$

XI.5.- Monograma para el cálculo de pérdidas en la línea de aspersores.

Otro sistema para facilitar el cálculo en las líneas de aspersores es el de los monogramas en la Tabla II (Fig. 46).

Para el uso de estos monogramas se juega con los datos siguientes: Caudal de descarga del aspersor en l.p.m., ϕ de la tubería, número de aspersores y pérdidas de presión.

Estos monogramas han sido diseñados para separación entre aspersores de 6 mts. uno y de 9 mts. otro. Para estas separaciones, figura en cada monograma el factor por el que han de multiplicarse los resultados obtenidos con las separaciones antedichas.

Ejemplos de aplicación de estos ábacos:

Nos dan una línea de 30 aspersores, separados 6 mts. con ϕ de 3" y caudal por aspersor 20 l.p.m.

Usamos el monograma con separación de 6 mts.

En la línea (1) se marca el caudal del aspersor 20 l.p.m.; se une este punto con el que señala, en la línea (2), el ϕ de tubería 3" (o 75 mm) y se prolonga esta línea hasta su encuentro con línea (3); se une este punto con el que marca, en la línea (4), el número de aspersores y se prolonga hasta su encuentro con la línea (5), que nos dá la pérdida de carga en la longitud total de la línea entre los dos aspersores extremos.

Si el caso considerado hubiera tenido los aspersores separados 12 mts. el resultado habría que haberlo multiplicado, según se indica en el monograma, — por 2.

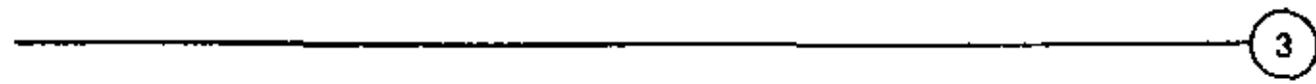
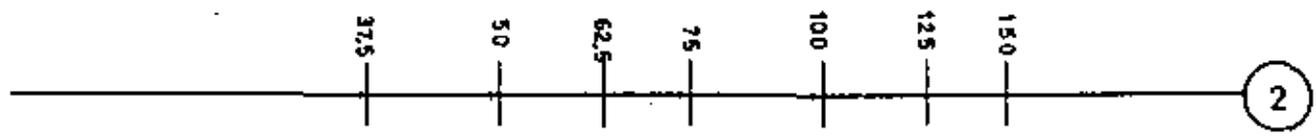
Otro ejemplo: nos dan la pérdida de presión admisible entre extremos de una línea de aspersores, el número de éstos a instalar, su separación y el ϕ de la tubería. Se pide el caudal que debe arrojar cada aspersor.

TABLA II

DESCARGA DEL ASPERSOR EN L. P. M.



Ø EXTERIOR DE LA TUBERIA EN m.m.

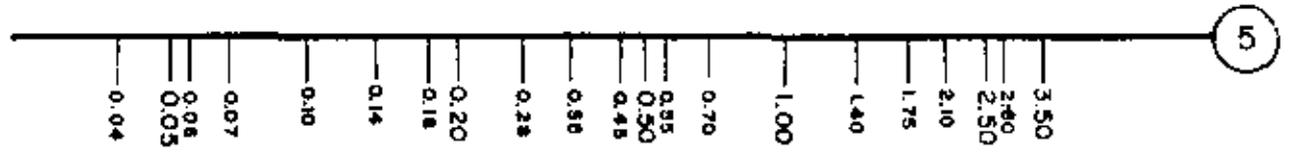


NUMERO DE ASPERSORES EN LA LINEA DE REGADORES CON SEPARACION DE 9mts.



SI LA SEPARACION DE ASPERSORES ES DISTINTA DE 9 mts. MULTIPLICAR EL RESULTADO QUE SE OBTENGA POR LOS FACTORES SIGUIENTES:

- Para 18 mts. x 2
- Para 27 mts. x 3
- Para 36 mts. x 4

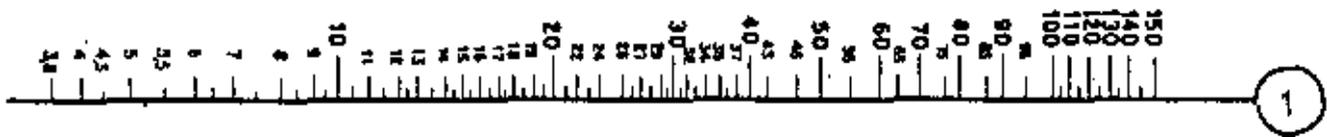


PERDIDAS DE PRESION ENTRE LOS DOS ASPERSORES EXTREMOS EN Kg/ m²

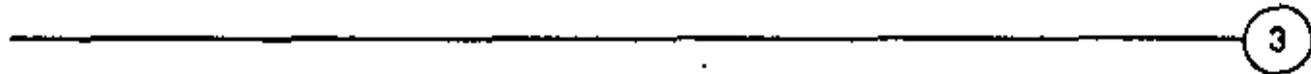
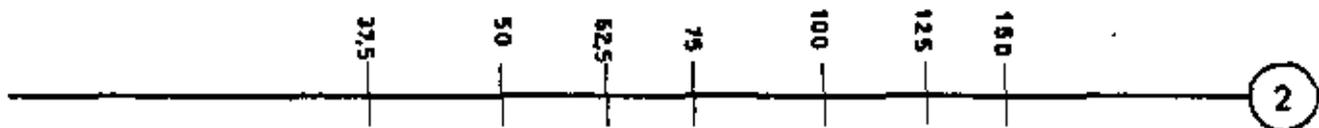
FIGURA 46

TABLA II

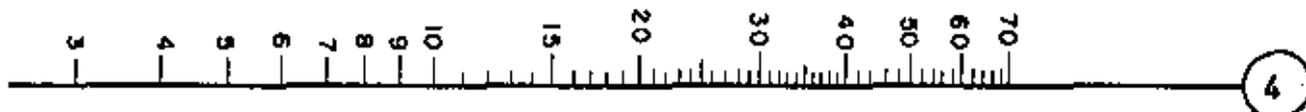
DESCARGA DEL ASPERSOR EN L. P. M.



Ø EXTERIOR DE LA TUBERIA EN m.m.

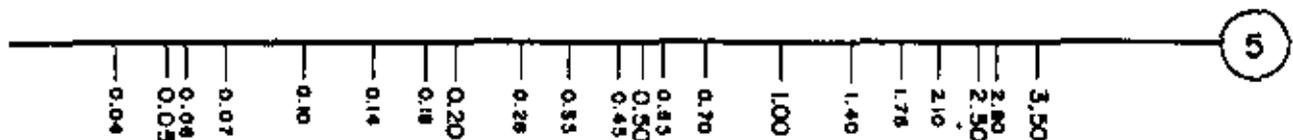


NUMERO DE ASPERSORES EN LA LINEA DE REGADORES CON SEPARACION DE 6mts.



SI LA SEPARACION DE ASPERSORES ES DISTINTA DE 6 mts. MULTIPLICAR EL RESULTADO QUE SE OBTENGA POR LOS FACTORES SIGUIENTES:

- Para 12 mts. x 2
- Para 18 mts. x 3
- Para 24 mts. x 4
- Para 30 mts. x 5
- Para 36 mts. x 6



PERDIDAS DE PRESION ENTRE LOS DOS ASPERSORES EXTREMOS EN Kg./m²

FIGURA 46

(Pérdida admisible $0,4 \text{ Kg/cm}^2$.
Datos.. (Tubería de $\phi 3'' = 75 \text{ mm}$.
(Número de aspersores en la línea = 30
(Separación = 6 mts.

Usamos el monograma de 6 mts. y en la línea (5) se señala la pérdida $0,4$; se une este punto con el que marca en la línea (4) el número de aspersores (30) y se prolonga hasta su encuentro con la línea (3); se une este punto con el que marca, en la línea (2), el $\phi 3''$ y se prolonga hasta su encuentro con la línea (1), que nos da el caudal por aspersor.

Si la separación hubiera sido de 12 mts. habría que haber dividido por 2 la pérdida admisible $0,4 \text{ Kg/cm}^2$ y seguir el camino antes detallado.

Otros problemas que resuelve el ábaco:

La mayoría de las veces que se estudia un Proyecto de Riego por Aspersión, y dentro del cálculo de la línea de aspersores, los datos que se poseen — son el caudal de descarga del aspersor y la separación óptima entre ellos. Con estos dos valores el uso del ábaco es el siguiente:

(Caudal del aspersor = 30 l.p.m.
(Separación = 18 mts.

Se marca en la línea (1) del monograma (en este caso el de separación entre aspersores de 9 mts.) el caudal anterior; uniendo el punto marcado con los diversos diámetros de tubería de línea (2), y prolongando estas rectas hasta su encuentro con la línea (3), tenemos una serie de puntos de intersección. Uniendo estos puntos de intersección con los números de aspersores que piensan utilizarse por línea, señalados en la (4), y prolongando hasta su encuentro con (5), tenemos las pérdidas de carga que se producen. Estas se pueden contrastar comparándolas con la presión de trabajo en boquilla del aspersor, o bien señalando esta a priori para que el número máximo de aspersores por línea sea admisible.

Los monogramas indicados pueden utilizarse, en el caso de usarse tuberías de regadores con dos diámetros, señalando en la línea 2 un ϕ de tubería promedio entre ambos valores proporcionalmente a los porcentajes en que éstos entran en la longitud total.

XI.6.- Abaco para determinar el número de aspersores.

El número máximo de aspersores admisibles por línea se puede determinar por la Tabla III (Fig. 47), utilizando los datos de caudal por aspersor, separa-

TABLA III

NUMERO MAXIMO DE ASPERSORES POR LINEA CON ARREGLO A SEPARACION ENTRE ELLOS Y CAUDAL EN L. P. M.

L. P. M. POR ASPERSOR	SEPARACION ASPERSORIS	50 # EXTERIOR Kg/cm ²			75			100			125			150		
		2.45	3.15	3.85	2.45	3.15	3.85	2.45	3.15	3.85	2.45	3.15	3.85	2.45	3.15	3.85
7.5	6	27	30	33	56	60	65	90	100							
9.5	6	24	26	29	48	53	57	80	86	92						
	9	19	21	24	42	46	49	65	75	80						
11.4	6	20	23	25	42	47	50	70	76	82						
	9	18	20	22	38	41	44	60	66	72						
15.1	6	18	19	20	36	40	42	59	64	68	85					
	9	15	16	18	31	34	36	50	56	60	75					
18.9	6	15	16	18	31	34	36	50	56	60	75	81				
	9	14	14	15	27	29	32	44	48	52	65	70	75			
	12	12	12	14	24	26	28	40	44	47	59	64	69	78	85	90
22.7	6	13	14	15	28	30	32	46	50	53	66	73	78	90	96	103
	9	11	12	13	24	26	28	40	43	46	59	63	67	77	84	90
	12	10	11	12	21	23	25	36	39	42	52	57	60	70	76	81
26.5	6	12	13	14	25	27	29	42	45	48	60	65	70	80	86	93
	9	10	11	12	21	24	25	36	40	42	54	57	61	70	76	80
	12	9	10	11	19	21	23	32	35	38	48	52	55	63	69	74
30.3	6	11	12	13	23	25	27	38	41	44	56	60	64	74	80	85
	9	9	10	11	20	21	23	33	36	38	48	53	56	64	70	74
	12	8	9	10	17	19	20	30	32	34	44	48	50	58	63	67
37.9	6	9	10	11	20	21	23	32	36	38	48	52	56	64	70	75
	9	8	9	9	17	18	20	29	31	33	42	46	49	56	61	64
	12	7	8	8	15	16	18	26	28	30	38	41	44	50	53	59
47.3	6	8	9	9	17	18	19	28	30	33	42	45	48	56	60	64
	9	7	7	8	14	16	17	25	27	28	37	40	42	49	53	56
	12	6	6	7	13	14	15	22	24	26	31	36	39	43	47	51
56.8	9	6	6	7	13	14	15	22	24	25	32	35	38	43	47	50
	12	5	6	6	11	12	13	19	21	23	29	32	34	39	42	45
	15	5	5	6	10	11	12	18	19	21	27	29	31	36	40	42
75.7	9	5	5	6	11	11	12	18	19	21	27	29	31	36	39	42
	12	4	4	5	9	10	11	16	17	19	24	26	28	32	35	38
	15	3	4	4	8	9	10	14	16	17	22	24	26	30	32	35
94.6	9	4	4	5	9	10	10	15	16	18	23	25	27	31	34	36
	12	3	4	4	8	9	9	14	15	16	20	22	24	28	30	32
	15	2	3	4	7	8	8	12	14	15	18	20	22	26	28	30
113.6	9	3	3	4	8	8	9	13	14	16	20	22	24	28	30	32
	12	2	3	3	7	8	8	12	13	14	18	20	21	24	27	29
	15	2	2	3	6	7	7	11	12	13	16	18	18	22	24	26
		100			125			150			175			200		
		4.20	5.60	7.00	4.20	5.60	7.00	4.20	5.60	7.00	4.20	5.60	7.00	4.20	5.60	7.00
151.4	12	12	13	14	18	20	22	24	28	30	30	34	38	38	42	45
	18	10	11	12	16	17	18	21	24	26	26	29	32	32	36	39
	24	9	10	11	14	16	17	19	21	23	24	26	29	29	32	35
189.3	12	10	12	12	16	17	18	21	24	26	26	30	32	32	36	39
	18	9	10	11	13	14	16	18	20	22	23	25	28	28	31	33
	24	8	9	9	12	13	14	16	18	20	20	23	25	25	28	30
227.1	12	9	10	11	14	15	16	18	20	22	24	26	28	29	32	34
	18	8	9	9	12	13	14	16	18	19	20	22	24	25	28	30
	24	7	8	8	10	12	13	14	16	18	18	20	22	22	25	27
302.8	18	6	7	7	10	11	12	13	14	16	16	18	20	20	23	25
	24	6	6	7	9	10	10	12	13	14	14	16	18	18	20	22
	30	5	6	6	8	9	9	11	12	13	13	15	16	16	18	20
378.5	24	5	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14	16	16	18	19
	30	5	5	5	7	7	8	9	10	11	11	13	14	14	16	18
	36	4	4	5	6	7	8	8	10	10	11	12	13	13	15	16

LAS PERDIDAS DE PRESION DEBIDAS AL ROZAMIENTO SE HAN COMPUTADO SOBRE UN MAXIMO DEL 20% DE LA PRESION DE TRABAJO EN EL ASPERSOR EN EL CASO DE UTILIZAR OTRAS SEPARACIONES DISTINTAS DE LAS QUE FIGUREN EN EL CUADRO, ASI COMO PRESIONES Y Ø DE TUBERIA INTERPOLAR.

FIGURA 47

ción entre ellos, β de tubería y presión en boquilla. Esa tabla se basa en el criterio de que la pérdida, entre los dos aspersores extremos de la línea, no su-
pare al 20% de la presión nominal de trabajo en boquilla de aspersor.

Si se han de utilizar valores que no figuran en el Cuadro se interpola-
rá.

Problemas que resuelve el ábaco:

1ª) - Nos dan el caudal del aspersor a utilizar = 30 l.p.m.; el β de la tu-
bería = 4", la presión en boquilla = 3,15 Kg/cm² y la separación = 12 mts.

Usando la Tabla III (Fig. 47), tenemos aproximadamente 32 aspersores.

2ª) - Cuando la línea de aspersores se compone de tramos con distintos diá-
metros, el uso de la tabla es como sigue:

Tenemos una línea con aspersores, de caudal 24 l.p.m., separados 12 -
mts. y trabajando a 2,45 Kg/cm² en boquilla. Esta tubería se compone de dos tra-
mos de igual longitud y con β de 4" y 3".

La tabla para 3" nos indica 21 aspersores.

La tabla para 4" nos indica 36 aspersores.

El camino que se sigue es añadir el 60% de la diferencia de asperso-
res al número que se precisa en la tubería de menos diámetro.

$$21 + \frac{60 \times 15}{100} = 30 \text{ aspersores}$$

Un problema análogo al anterior, pero con 3 diámetros de 5", 4" y 3" en
tramos de igual longitud (1/3 de la total), se resuelve como sigue:

Con 5" tendremos 52 aspersores y con 3", 21

$$\text{Luego, número} = 21 + \frac{60 \times 31}{100} = 40 \text{ aspersores.}$$

Complemento de los ábacos anteriores es el cuadro de la Tabla IV (Fig.
48), cuyo uso es previo al cálculo de la línea de aspersores: determina el as-
persor óptimo, según pluviometría, que admite el terreno.

En este cuadro, según la distribución de los aspersores y su caudal en
l.p.m., se tiene la pluviometría horaria que normalmente proporciona, en mm. ho-
ra. Esta es, naturalmente, directamente proporcional al caudal del aspersor, e -
inversamente proporcional al área que cubre.

Estos datos son valores medios de aspersores considerados óptimos y que
puedan servir para confeccionar los pliegos de condiciones, base de su adquisi-
ción.

Damos en la Tabla V (Fig. 49) la superficie cubierta según los despla-
mientos laterales y la longitud del ala regadora.

TABLA IV

PRECIPITACION EN m.m. POR HORA SEGUN CAUDAL POR MINUTO Y
SEPARACION DEL ASPERSOR

SEPARACION EN METROS	LITROS POR MINUTO									
	3.8	7.6	11.4	15.1	18.9	22.7	26.5	30.3	34.1	37.8
6 X 6	6.1	12.2	18.3	24.4	30.5	36.6	42.7	48.8	54.9	61.0
6 X 9	4.1	8.1	12.2	16.3	20.3	24.4	28.4	32.5	36.1	40.6
6 X 12	3.0	6.1	9.1	12.2	15.2	19.3	21.3	24.4	27.4	30.5
9 X 9	2.8	5.3	8.1	10.9	13.7	16.3	19.0	21.8	24.4	27.2
9 X 12	2.0	4.1	6.1	8.1	10.2	12.2	14.2	16.3	18.3	20.3
9 X 15		3.3	4.8	6.6	8.1	9.6	11.4	13.	14.7	16.3
9 X 18		2.8	4.1	5.3	6.9	8.1	9.6	11.0	12.2	13.5
12 X 12		3.0	4.6	6.1	7.6	9.1	10.7	12.2	13.7	15.2
12 X 15			3.6	4.8	6.1	7.4	8.6	9.6	11.9	12.2
12 X 18			3.0	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.2
12 X 24					3.8	4.6	5.3	6.1	6.9	7.6
15 X 15					4.8	5.8	6.9	7.9	8.9	9.9
15 X 18					4.1	4.8	5.6	6.6	7.4	8.1
15 X 21						4.3	4.8	5.6	6.3	7.1
18 X 18						4.1	4.8	5.3	6.1	6.9
18 X 21						3.8	4.1	4.6	5.3	5.8
18 X 24						3.0	3.6	4.1	4.6	5.1

FIGURA 48

TABLA V

SUPERFICIE QUE CUBRE UNA LINEA DE ASPERSORES
 VARIACIONES DE LONGITUD Y ANCHO EN LA SEPARACION
 DE LAS LINEAS DE TENDIDO.

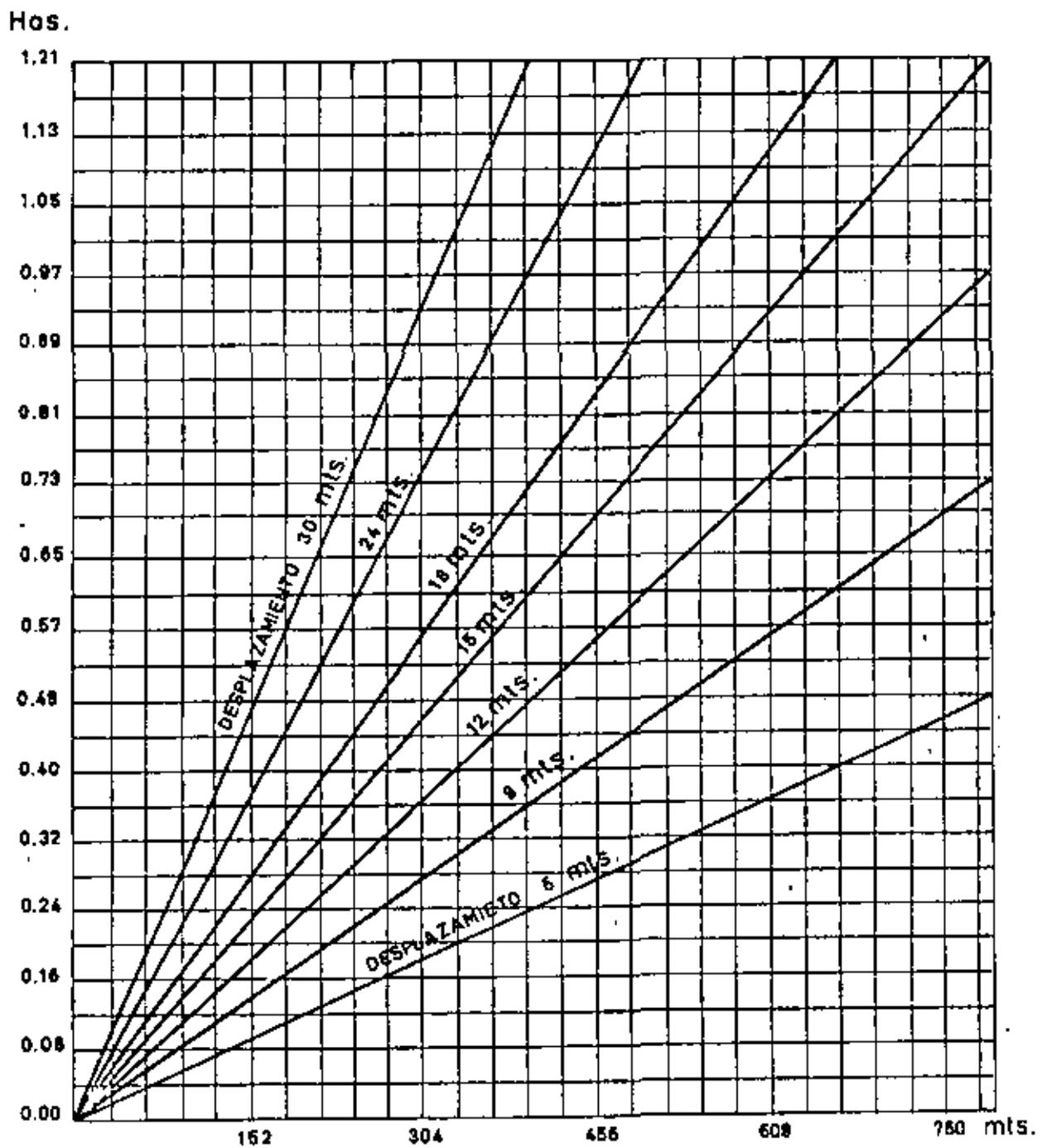


FIGURA 49

XIII - TUBERIAS PRINCIPALES MADRES O DE ALIMENTACION

Estas tuberías son complemento indispensable, en todo Proyecto de riego por aspersión, de las líneas de aspersores, o alas regadoras, descritas en los epígrafes anteriores:

La misión de estas tuberías, que pueden ser fijas (normalmente enterradas) o móviles, es conducir el agua a las líneas de aspersores, amoldándose a sus diversas disposiciones de tendido; si estas tuberías madres o principales son móviles, se adaptarán a las condiciones topográficas del terreno y a las desviaciones que éste imponga.

Entre estas tuberías madres merecen citarse las tuberías de conducción con gateras, las cuales, en su calidad de conducciones móviles, son utilizadas para riego de pie, proporcionando movilidad sobre el terreno a las redes de conducción. En esto aventajan a las acequias, o conducciones fijas a cielo abierto, que normalmente se utilizan en los riegos de pie.

El primer problema que plantea el cálculo de estas tuberías es la composición y descomposición, de las redes a partir del punto de suministro o captación del agua. Las agrupaciones y ramificaciones resultantes deberán distribuir las cantidades de agua precisas a las superficies de terreno que sirven, a la presión prefijada. Por tanto, el problema es seleccionar los ϕ precisos en estas conducciones para que se cumplan las condiciones anteriores lo más económicamente posible.

El cálculo de estas tuberías principales, así como el de sus derivadas precisa el análisis total del sistema para determinar las máximas condiciones de trabajo en cuanto a caudal y presión.

XIII.1.- Pérdidas por rozamiento en tuberías madres de conducción, principales y derivadas.

Para cada clase de material de las tuberías a emplear habrá distintos coeficientes de rugosidad, influyendo también en este factor el número y forma de las uniones. Vamos a empezar este estudio con las pérdidas por rozamiento en las tuberías de conducción móviles construidas de acero y aluminio.

Puede usarse para este fin la fórmula de Scobey's (descrita en el epígrafe X.1.-) utilizando el coeficiente $K = 0,40$. Para abreviar su uso, se da en la Tabla VI (fig. 50) un cuadro de pérdidas por cada 100 mts. de tubería con tramos acoplados cada 9 mts. De los diámetros que figuran en el cuadro, el superior es el exterior y el inferior (entre paréntesis) el interior. Las pérdidas mencionadas corresponden a los diversos caudales que circulan normalmente en esta clase de tuberías móviles.

En casos de tubería con acoplamientos a 6 mts. se incrementan los valores de la tabla en un 7%; si son a 12 mts. se disminuyen un 3%.

En la Tabla VII (Fig. 51) se da un cuadro de pérdidas de carga para tuberías de amianto o asbesto-cemento, utilizando la misma fórmula de Scobey's, — con $K = 0,32$. Los caudales de este cuadro son superiores a los del anterior ya que, por el carácter de instalación fija en estas tuberías, se utilizan normalmente para mayores capacidades de conducción.

Por último, en la Tabla VIII (Fig. 52), se da un cuadro de pérdidas de carga por 100 mts. de tubería de acero con soldaduras y 15 años de servicio. Se obtuvieron a partir de la fórmula de Scobey's ($K = 0,36$).

Complemento de los cuadros anteriores es el que se muestra en la Tabla IX (Fig. 53) para tuberías de acero o hierro. Se basa en la fórmula de Hazen-Williams, dándose las pérdidas por cada 1.000 mts. de tubería y para un factor, o coeficiente C de esta fórmula, $C = 100$.

En esta Tabla, las zonas sombreadas son aquéllas donde la velocidad del agua oscila de 1,50 a 3 m/seg. las cuales deben ser usadas con grandes precauciones.

Para valores de C distintos de 100, se multiplican los resultados del cuadro por los coeficientes siguientes:

$C = 140$	Factor 0,53
130	0,62
120	0,71
110	0,84

PERDIDAS POR ROZAMIENTO EN 100 mts. DE TUBERIA PRINCIPAL MOVIL
DE ALUMINIO CON ACOPLAMIENTOS

CAUDAL L. P. M.	3" d 76,2 m.m. (2.914" d 74.02 m.m.)	4" d 101,6 m.m. (3.936" d 99.21 m.m.)	5" d 127,0 m.m. (4.896" d 124.35 m.m.)	6" d 152,4 m.m. (5.856" d 149.45 m.m.)	7" d 177,8 m.m. (6.872" d 174.55 m.m.)	8" d 203,2 m.m. (7.886" d 199.54 m.m.)	10" d 254,0 m.m. (9.818" d 249.38 m.m.)
151.42	0.658	0.157					
189.27	1.006	.239					
227.13	1.423	.339					
264.98	1.906	.449	0.150				
302.83	2.457	.584	.193				
340.69	3.073	.731	.242				
378.54	3.754	.893	.295	0.120			
454.25	5.307	1.263	.417	.170			
529.96	7.113	1.693	.560	.227			
605.67	9.169	2.182	.721	.293			
681.38	11.47	2.729	.967	.366			
757.09	14.01	3.333	1.102	.448	0.209		
832.79	16.79	3.996	1.321	.537	.251		
908.50	19.81	4.713	1.558	.633	.296		
984.21	23.06	5.488	1.814	.737	.344		
1.059.92	26.55	6.316	2.089	.849	.397		
1.135.63	30.27	7.203	2.381	.967	.452	0.235	
1.211.34	34.22	8.142	2.692	1.094	.511	.265	
1.287.05	38.39	9.137	3.020	1.227	.573	.298	
1.362.75	42.80	10.18	3.366	1.368	.639	.332	
1.438.46	47.43	11.29	3.731	1.516	.708	.368	
1.514.17	52.28	12.44	4.113	1.671	.781	.399	0.136
1.589.88		13.65	4.513	1.833	.857	.445	.149
1.665.59		14.57	4.930	1.988	.936	.486	.163
1.741.30		16.23	5.364	2.179	1.019	.529	.177
1.817.01		17.59	5.815	2.363	1.104	.573	.192
1.892.71		19.01	6.284	2.554	1.193	.620	.208
2.081.99		22.79	7.532	3.060	1.430	.742	.249
2.271.26		26.88	8.886	3.611	1.687	.876	.294
2.460.53		31.30	10.35	4.204	1.965	1.020	.342
2.649.80		36.03	11.91	4.839	2.262	1.174	.394
2.839.07		41.08	13.58	5.517	2.520	1.339	.449
3.028.34			15.35	6.237	2.915	1.513	.507
3.217.61			17.22	6.999	3.271	1.698	.569
3.406.89			19.20	7.801	3.646	1.893	.635
3.596.16			21.28	8.645	4.041	2.097	.703
3.785.43			23.45	9.530	4.454	2.312	.775
4.153.97			28.11	11.42	5.338	2.771	.929
4.542.52			31.76	13.58	6.298	3.269	1.096
4.921.06				15.69	7.333	3.806	1.277
5.299.60				18.06	8.441	4.382	1.470
5.678.14				20.59	9.624	4.996	1.675
6.056.69				23.28	10.88	5.648	1.894
6.435.23				26.12	12.21	6.337	2.369
6.813.77					13.61	7.064	2.369
7.192.32					15.08	7.829	2.625
7.570.86					16.62	8.630	2.894

PERDIDAS POR ROZAMIENTO EN 100 mts. DE TUBERIA DE
ASBESTO -- CEMENTO

CAUDAL L. P. M.	4" ó 101,6 m.m.	6" ó 152,4 m.m.	8" ó 203,2 m.m.	10" ó 254,0 m.m.	12" ó 292,8 m.m.
378.54	0.677				
454.25	.954				
529.96	1.28				
605.67	1.65				
681.38	2.05				
757.09	2.53	0.372			
832.79	3.03	.447			
908.50	3.55	.525			
984.21	4.16	.611			
1.059.92	4.77	.705			
1.135.63	5.44	.803			
1.211.34	6.16	.910			
1.287.05	6.91	1.02			
1.362.75	7.70	1.14			
1.438.46	8.54	1.26			
1.514.17	9.40	1.39	0.324		
1.589.88	10.3	1.52	.355		
1.665.59	11.3	1.65	.389		
1.741.30	12.3	1.81	.423		
1.817.01	13.3	1.96	.458		
1.892.71	14.4	2.12	.495		
2.081.99	17.2	2.55	.594		
2.271.26	20.3	2.99	.701	0.214	
2.450.53	23.7	3.49	.818	.249	
2.649.80	27.3	4.02	.935	.287	
2.839.07	31.1	4.57	1.07	.328	
3.028.34		5.18	1.21	.370	0.152
3.217.61		5.81	1.36	.415	.170
3.405.89		6.45	1.51	.464	.190
3.596.16		7.17	1.68	.511	.210
3.785.43		7.91	1.85	.564	.232
4.163.97		9.45	2.21	.675	.278
4.542.52		11.2	2.62	.800	.328
4.921.06		13.0	3.04	.932	.384
5.299.60		15.0	3.50	1.07	.438
5.678.14		17.1	3.99	1.22	.502
6.056.69		19.3	4.52	1.38	.565
6.435.23			5.06	1.55	.637
6.813.77			5.67	1.73	.710
7.192.32			6.26	1.91	.787
7.570.86			6.90	2.11	.864
8.327.95			8.27	2.53	1.04
9.085.03			9.75	2.98	1.23
9.842.12			11.4	3.47	1.43
10.599.20			13.1	4.00	1.64
11.356.29			14.9	4.56	1.87

TABLA VIII

FIGURA 52

PERDIDAS POR ROZAMIENTO EN 100 mts. DE TUBERIA PRINCIPAL DE ACERO CON 15 AÑOS DE SERVICIOS.

CAUDAL EN L.P.M.	4" ϕ 101,6 m.m.			5" ϕ 127,0 m.m.		6" ϕ 152,4 m.m.		7" ϕ 177,8 m.m.		8" ϕ 203,2 m.m.		10" ϕ 254,0 m.m.	
	16	14	12	14	12	14	12	14	12	14	12	14	12
151.42	0.150	0.155	0.169	0.048	0.052								
189.27	.218	.227	.246	.074	.080								
227.13	.300	.312	.339	.106	.113								
264.98	.393	.411	.444	.142	.151								
302.83	.558	.579	.628	.182	.193	0.074	0.079						
340.69	.677	.709	.768	.228	.242	.091	.096						
378.54	.810	.848	.920	.279	.296	.109	.115	0.052	0.054				
473.18	1.28	1.34	1.45	.425	.452	.172	.181	.079	.082				
567.81	1.76	1.83	1.99	.602	.640	.235	.249	.111	.116				
662.45	2.42	2.52	2.73	.807	.857	.323	.341	.148	.155	0.075	0.080		
757.09	3.04	3.17	3.44	1.04	1.10	.407	.429	.191	.200	.096	.100		
946.36	4.79	5.01	5.43	1.59	1.69	.643	.678	.292	.306	.152	.159	0.050	0.052
1.135.63	6.74	7.04	7.63	2.25	2.39	.903	.953	.414	.432	.215	.223	.070	.072
1.324.90	8.99	9.41	10.2	3.01	3.23	1.21	1.27	.555	.579	.287	.297	.095	.097
1.514.17	11.5	12.1	13.1	3.88	4.12	1.55	1.63	.714	.746	.369	.381	.120	.124
1.703.44	14.4	15.3	16.3	4.85	5.16	1.94	2.04	.894	.934	.458	.476	.150	.155
1.892.71	17.6	18.6	19.9	5.93	6.30	2.36	2.49	1.09	1.14	.559	.580	.183	.189
2.271.26				8.38	8.91	3.39	3.57	1.54	1.61	.801	.834	.263	.271
2.649.80				11.2	11.9	4.51	4.76	2.07	2.16	1.07	1.11	.352	.361
3.028.34				14.5	15.4	5.79	6.10	2.67	2.79	1.37	1.42	.450	.464
3.406.89						7.28	7.68	3.34	3.48	1.73	1.79	.573	.584
3.785.43						8.90	9.38	4.08	4.26	2.11	2.18	.694	.712
4.542.52						12.5	13.2	5.76	6.02	3.04	3.07	.977	1.00
5.299.60								7.73	8.07	3.98	4.14	1.30	1.35
6.056.69								9.96	10.4	5.13	5.33	1.68	1.74
6.813.77										6.43	6.66	2.12	2.17
7.570.86										7.86	8.18	2.62	2.65
9.463.57										12.0	12.5	3.97	4.05
11.356.29												5.52	5.74

TABLA IX

PERDIDAS DE CARGA POR 1.000 mts. EN TUBERIAS DE ACERO O HIERRO

	75	100	150	200	250	300	350	400	450
38	0.7								
57	1.5								
76	2.5	0.62							
95	3.8	0.94							
114	5.4	1.32	0.1						
133	7.1	1.74	0.2						
152	9.1	2.23	0.3						
190	13.9	3.39	0.4						
228	19.3	4.74	0.6						
265	25.7	6.3	0.8						
303	32.8	8.1	1.1	0.30					
341	40.8	10.0	1.4	0.35					
379	49.7	12.2	1.7	0.41					
474	75.5	18.5	2.6	0.65					
568	105.0	25.9	3.7	0.90	0.28				
663	140.6	34.9	4.7	1.2	0.38				
758		44.1	6.1	1.5	0.47	0.22			
947		67.0	9.2	2.3	0.80	0.30	0.15		
1.136		92.0	13.0	3.2	1.1	0.44	0.21	0.12	
1.325			17.0	4.3	1.4	0.59	0.28	0.16	
1.515			22.0	5.4	1.9	0.75	0.36	0.20	0.10
1.704			27.4	6.7	2.3	0.94	0.44	0.24	0.13
1.893			29.0	8.2	2.8	1.13	0.55	0.28	0.16
2.272			46.5	11.3	3.9	1.59	0.76	0.39	0.22
2.650			62.1	15.2	5.2	2.14	1.02	0.53	0.29
3.029			75.6	19.7	6.6	2.73	1.29	0.68	0.37
3.407				24.5	9.6	3.39	1.59	0.84	0.47
3.786				29.7	10.3	4.11	1.95	1.01	0.58
4.543				31.1	14.0	5.75	2.74	1.42	0.81
5.300				55.0	18.7	7.74	3.63	1.90	1.06
6.057					23.0	9.82	4.70	2.42	1.38
6.814					29.5	12.1	5.77	3.02	1.70
7.571					35.5	14.8	7.05	3.68	2.06
9.464						28.4	10.6	5.55	3.14
11.357						31.4	15.0	7.74	4.38
13.249							19.7	10.4	5.83
15.141							25.0	12.2	7.30

FIGURA 53

C = 90	Factor 1,22
80	1,51
60	2,75

III.2.- Pérdidas por rozamiento en conducciones principales fijas de gran diámetro.

Estas conducciones se emplean en instalaciones de riego por aspersión que afectan a una gran superficie y cuyos puntos de suministro están alejados - del extremo de la zona a transformar. Se suelen presentar problemas de régimen turbulento, con paso de régimen laminar a turbulento y viceversa. Para el cálculo de estas tuberías se aconseja la utilización de la fórmula de Darcy-Weisbach, aunque también pueden usarse las de Scobey's y Hazen-Williams, indicadas anteriormente, así como la de Manning la cual exponemos a continuación:

Fórmula de Manning:

$$V = \frac{R^{2/3} \times J^{1/2}}{n}$$

V = velocidad en m/seg.; R = radio hidráulico en mts. J = pendiente - en m/m.

Los coeficientes para la aplicación de estas fórmulas, según la clase de tubería y su estado, son:

	Scobey's <u>K</u>	Hazen Williams <u>C</u>	Manning <u>n</u>
Tubería asbesto-cemento, fibro- cemento o de plástico	0,32	140	0,009
Tuberías de cemento armadas o de - acero con bandas soldadas	0,36	130	0,010
Tuberías de acero nuevas, sin protec- ción o de aluminio con acoples móvi- les	0,40	120	0,012
Tuberías de acero poco usadas	0,44	110	0,014
Tuberías de acero o hierro con 15 - años de uso	0,48	100	0,016
Tuberías con rugosidad interior alta	0,54	90	0,018
Tuberías muy rugosas	0,60	80	0,020

La fórmula de Darcy-Weisbach es como sigue:

$$H = f \times \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g}$$

Siendo:

f = factor de frotamiento, que es variable según se trate de régimen laminar o turbulento y según el material y estado de la tubería.

L = longitud de la tubería en mts.

d = diámetro de la tubería en mts.

V = velocidad en m/seg.

g = aceleración de la gravedad en m/seg².

Los valores de f son:

En régimen laminar, $f = \frac{64}{R_E}$

En régimen turbulento, $f = \frac{b}{(R_E)^a}$, siendo a y b coeficientes experimentales.

R_E es el número de Reynolds, cuyo valor es $R_E = \frac{V \times d}{\nu}$ siendo:

V = velocidad en m/seg.

d = diámetro en mts.

ν = viscosidad cinemática en m²/seg.

Los valores de ν (viscosidad cinemática del agua) dependen de la temperatura y son:

<u>Temperatura °C</u>	<u>ν</u>
4,44	0,152 x 10 ⁵ m ² /seg.
10,00	0,130 x 10 ⁵
15,55	0,113 x 10 ⁵
21,11	0,098 x 10 ⁵
26,66	0,086 x 10 ⁵
32,22	0,076 x 10 ⁵
37,77	0,068 x 10 ⁵
43,33	0,062 x 10 ⁵
48,88	0,056 x 10 ⁵
65,55	0,044 x 10 ⁵

Los valores del número de Reynolds que marcan el paso del régimen laminar a turbulento en una conducción son:

Valores de R_E	2.000 régimen laminar
Valores de R_E	2.000 " turbulento.

Los valores de f se buscan en el gráfico X (fig. 54); en abscisas se busca el número de Reynolds calculado y se levanta una vertical hasta su encuentro con la línea correspondiente a la clase de tubería; trazando ahora una horizontal tendremos el valor f en su punto de corte con el eje de ordenadas.

Los problemas que resuelve la fórmula de Darcy-Weisbach por la Tabla X (Fig. 54) son:

1º) - Dados:

Q , caudal en l.p.m.

d , diámetro en mts.

L , longitud de la tubería en mts.

ν , viscosidad cinemática del agua.

Calcular las pérdidas de carga H :

Determinemos primero $R_E = \frac{V \times d}{\nu}$, siendo: $V = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}}$. Buscamos ahora el

valor f según hemos explicado. Aplicándolo en la fórmula:

$$H = f \times \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g} \text{ tendremos } H.$$

2º) - Se dan:

L , longitud tubería

d , diámetro

H , pérdida de carga

ν , viscosidad cinemática.

Hay que determinar Q ,

Desconocemos si el régimen es laminar o turbulento ya que $R_E = \frac{V \times d}{\nu}$ y no sabemos el valor de V . Por ello, con la fórmula $H = \frac{32 \mu \times L \times V}{2}$ (siendo μ la viscosidad absoluta, que conocemos, por tener μ y ρ , densidad). Podemos determinar V y comprobamos si $R_E < 2.000$; si es $R_E > 2.000$ no vale.

En este caso, se toma el valor f del diagrama X (Fig. 54) medio para los números de R_E extremos, según la clase de tubería. Con él, utilizando $H = f \times \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g}$, se determina V y con este valor R_E .

Con el valor de R_E obtenido acudimos al diagrama y determinamos f ; si este valor de f coincide con el tomado medio, vale el cálculo; si no se repite de nuevo el cálculo, con otro valor de f aproximado, hasta tener coincidencia.

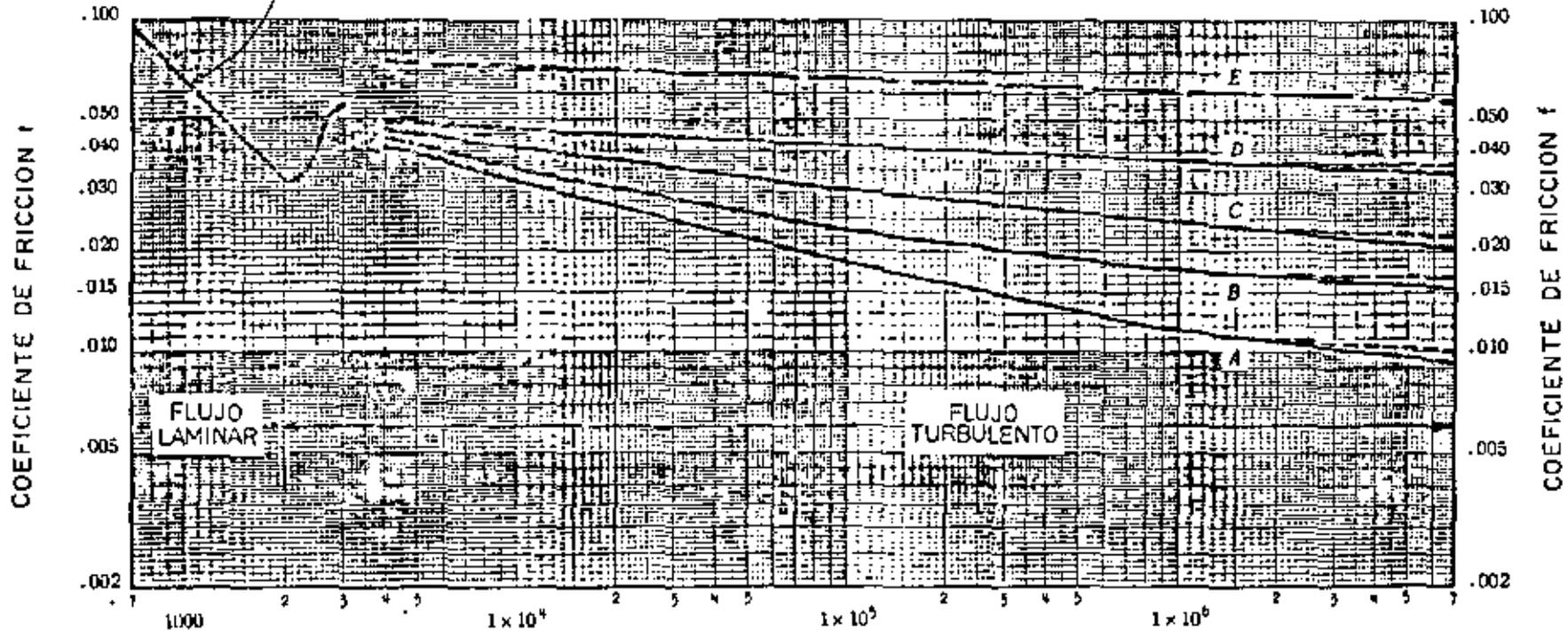
En el diagrama XI (Fig. 55) se da el cálculo de las pérdidas de carga con la fórmula de Hazen-Williams, para $C = 100$.

DIAGRAMA X

COEFICIENTE DE FRICCION f SEGUN NUMERO DE REYNOLDS

- A- TUBERIAS MUY PULIDAS (VIDRIO, COBRE, PLASTICO)
- B- TUBERIAS COMERCIALES NUEVAS
- C- TUBERIAS COMERCIALES CORRIENTES
- D- TUBERIAS COMERCIALES VIEJAS
- E- TUBERIAS DE GRAN RUGOSIDAD (APROXIMACION MUY ALTA)

$$f = \frac{64}{R_E} \text{ (TODA CLASE DE TUBERIAS)}$$



$$R_E = \frac{V \times d \times w}{\mu \times g}$$

V = VELOCIDAD EN M/SEG.
 d = DIAMETRO TUBERIA EN M.
 μ = VISCOSIDAD ABSOLUTA EN $\text{Kg/m}^2 \text{ SEG}$
 g = ACELERACION GRAVEDAD 9.81 m/SEG
 w = PESO ESPECIFICO Kg/m^3

NUMERO DE REYNOLDS R_E

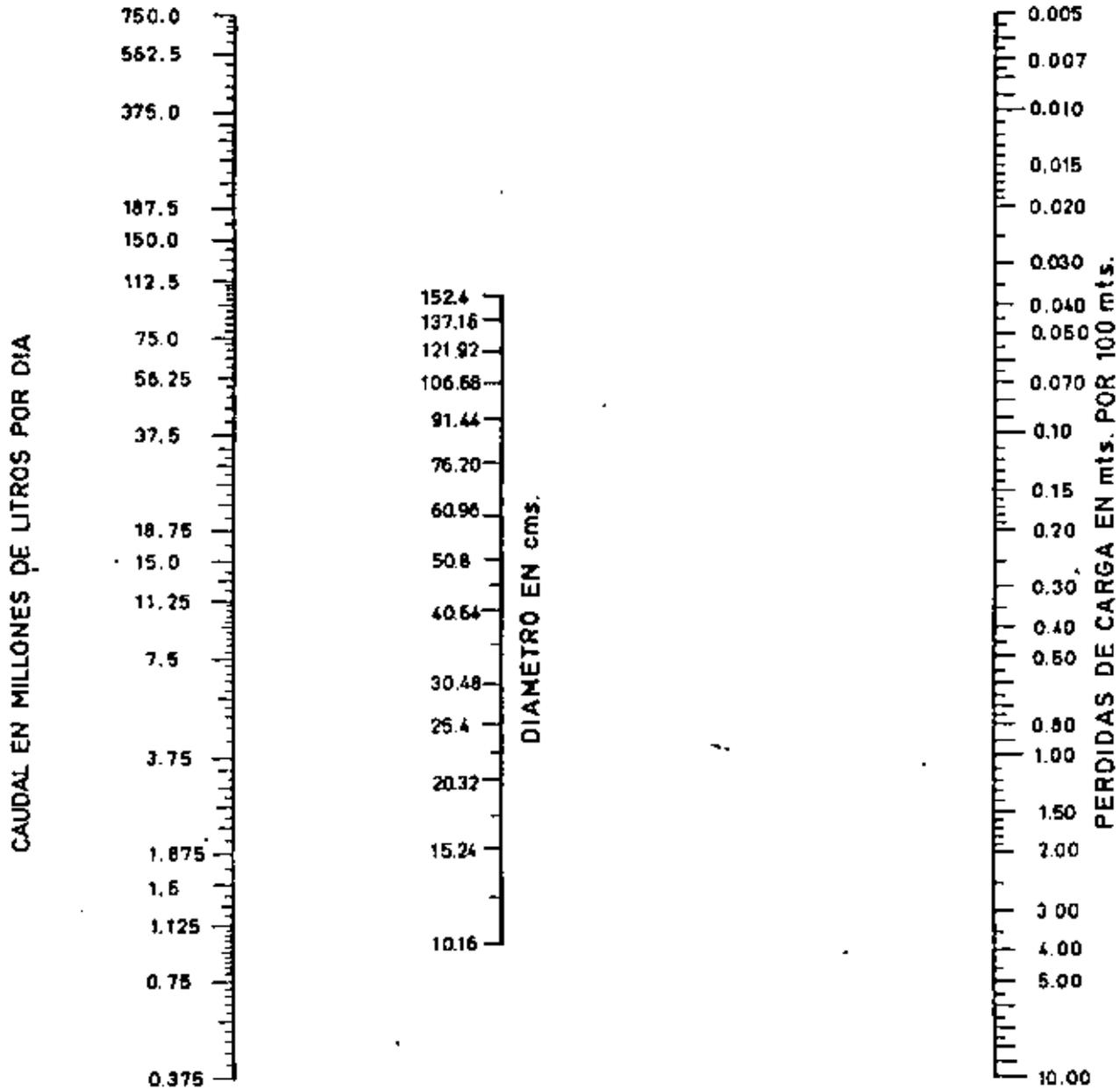
$$R_E = \frac{V \times d}{\nu}$$

V = VELOCIDAD EN M/SEG.
 d = DIAMETRO EN M.
 ν = VISCOSIDAD CINEMATICA EN m^2/SEG .

FIGURA 54

DIAGRAMA XI

FORMULA DE HAZEN WILLIAMS C=100



FORMULA DE HAZEN-WILLIAMS

$V = 0.85 \times C \times R^{0.63} \times I^{0.54}$ EN M/SEG. R = RADIO HIDRAULICO
 I = PENDIENTE DEL GRADIANTE HIDRAULICO
 C = COEFICIENTE DE RUGOSIDAD SEGUN TUBERIA

Los problemas que resuelve este gráfico son los siguientes:

1ª) - Nos dan:

- Q, caudal de la conducción l.p.m.
- d, diámetro de la tubería en cms.
- C, coeficiente de la tubería.

Como la tabla se basa en $C = 100$, el caudal correspondiente al coeficiente dado será, dada la proporcionalidad en la fórmula de la velocidad de Hazen-Williams:

$$Q_1 = \frac{Q \times 100}{C}$$

Este nuevo caudal se pasa a litros por día y se busca en la escala vertical de la izquierda; se une este punto, por una recta, con el correspondiente al diámetro de la tubería (señalado en la escala vertical del centro); se prolonga esta recta hasta su encuentro con la vertical de la derecha, que nos da la pérdida por 100 mts. de tubería.

2ª) - Nos dan:

- H, pérdida de carga por 100 mts.
- d, diámetro en centímetros.
- C, coeficiente.

Se busca en la escala vertical de la derecha H y se une, por una recta, con el punto del diámetro en la escala del centro, prolongando hasta el encuentro con la escala de la izquierda; aquí tendremos Q_1 , pero referido a $C = 100$; el caudal para C será:

$Q = \frac{Q_1 \times C}{100}$ litros por día (que se pasa a litros por minuto).

3ª) - Nos dan:

- H, pérdida de carga por 100 mts.
- Q, caudal en l.p.m.
- C, coeficiente.

Se busca H en la escala vertical de la derecha, se pasa el valor Q al correspondiente al coeficiente 100 ($Q_1 = \frac{100 \times Q}{C}$) y a litros por día, buscándose se este nº en la escala vertical de la izquierda; se unen ambos puntos y, en su encuentro con la escala vertical del centro, tenemos el diámetro.

XIII - PROCEDIMIENTO GENERAL DE CALCULO A SEGUIR EN EL COMPUTO DE LAS PERDIDAS DE CARGA

Los problemas que plantea ese cálculo varían según que la fuente suministradora de la presión necesaria, sea el bombeo o la gravedad:

En el primer caso se trata de la selección de los diámetros de tubería principal o derivadas y de los aspersores, de forma que se equilibre razonablemente el coste anual necesario en el bombeo, con el coste de amortización de la tubería. El último objeto será llegar al menor coste anual de aplicación del agua. El procedimiento de cálculo que se aconseja es partir de varios valores admisibles de pérdida de carga en la tubería principal y derivadas; estos diámetros se contrastan con la potencia necesaria y se eligen las tuberías que dan el gasto de elevación del m^3 más económico. La experiencia de estos cálculos aconseja en la primera fase de elección el estudio de las pérdidas de carga con un intervalo de oscilación de 9 m.

El origen de la presión puede ser la gravedad si se cuenta con presiones favorables por diferencia de cotas entre el punto de suministro del agua y el de su aplicación; dos problemas pueden presentarse:

a) - Cuando la diferencia de elevación, entre el punto de suministro del agua y el de su aplicación, proporciona una presión próxima a la necesaria, el problema es de conservarla; usando diámetros grandes se reducen las pérdidas de carga con el fin de que la presión disponible no se reduzca por debajo de los límites necesarios en el punto de aplicación.

b) - Cuando la diferencia anterior es excesiva, el problema es el de reducir presiones usando ϕ pequeños para aumentar las pérdidas por rozamiento. Con -

pendientes muy fuertes la solución anterior debe ir completada con la instalación y empleo de reductores de presión, para proteger la tubería o sus derivadas.

XIII.1.- Cálculo y disposiciones de la tubería madre o de alimentación del Equipo.

Hasta este momento hemos tratado, dentro de lo referente a un Proyecto de Riego por Aspersión, del cálculo de la dotación precisa, tipo de aspersor, número de éstos y cálculo de la tubería de aspersores, con su disposición o tendido sobre el terreno.

Ahora bien, las líneas de aspersores, desplazándose en sucesivas posiciones para cubrir la superficie del terreno que debe ser regada, precisa de una tubería madre o de alimentación que una los puntos desde los que se abastecerán todas esas alas regadoras.

Siendo varias las disposiciones que pueden admitirse en los tendidos de las líneas de aspersores, teniendo las tuberías madres un ϕ comercial mínimo de 5" y debiendo limitarse la diferencia de presión entre los extremos de esta tubería a los 10 mts. de carga (1 Kg/cm^2), estudiaremos en los epígrafes siguientes esos diferentes tendidos, así como sus pérdidas de carga.

XIII.2.- Tendido de línea principal madre o abastecedora con varias alas de aspersores.

Normalmente, sobre la longitud de la tubería principal madre se pueden tender al mismo tiempo dos o más alas de aspersores, siendo entonces variables las presiones de trabajo en cabeza de cada una de ellas según sus posiciones respectivas sobre la tubería principal.

Cuando esto ocurre al cálculo de los diámetros precisos en esta tubería se hará de la siguiente forma:

1º) - Procurando, en lo posible, que la altura de presión en la bomba precise pocas variaciones, según las diversas posiciones de tendido de las líneas de aspersores.

2º) - Que sea mínima la variación de presión, sobre la normal de trabajo en

boquilla de aspersor, cuando se instala la línea de aspersores al principio de la tubería madre o principal o al final de ella.

Dos casos pueden presentarse, según el número de líneas de aspersores instalados en la tubería madre o principal: a) - que sea dos; b) - que sea múltiple.

XIII.2.1.- Caso de dos líneas de aspersores sobre la tubería madre o principal.

En este caso, como indica la Fig. 56, los dos tendidos extremos de -- instalación para las líneas de aspersores son:

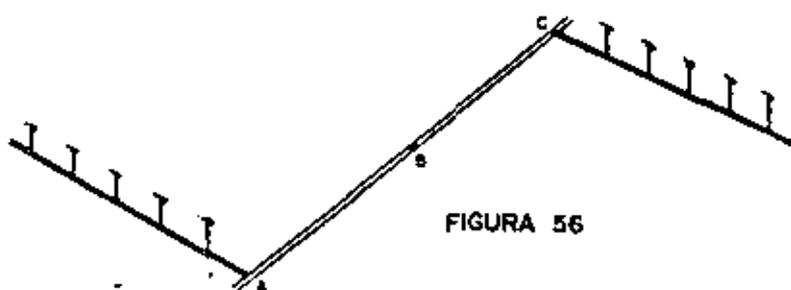


FIGURA 56

1ª) - Las dos líneas de aspersores en B, punto medio de la longitud de la línea madre o principal.

2ª) - Una línea de aspersores en A y la 2ª en C (cabeza y final de la tubería madre o principal)

Si el caudal que ha de circular es Q l/s., en el primer caso de A a B circulan Q l/s., y nada de B a C; en el segundo, de A a C circulan $Q/2$.

Estudieemos los diámetros necesarios teniendo en cuenta las posiciones extremas de tendido anteriores y suponiendo que la pendiente del terreno va en el sentido de la línea de tendido, es decir, que de A a C existe desnivel del terreno descendente (Fig. 57):

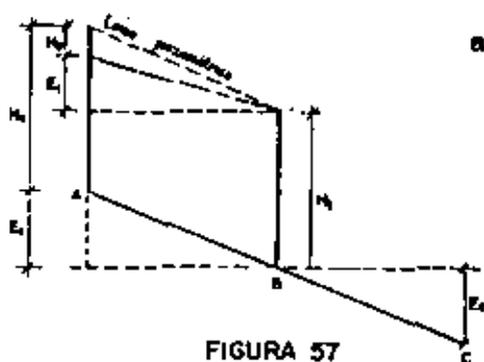


FIGURA 57

a) - Cálculo de los diámetros en AB; suponemos las dos líneas de aspersores instaladas en B:

$AB = L_1$ mts., desnival de A a B: E_1

$BC = L_2$ mts., desnival de B a C: E_2

Las presiones de trabajo en los puntos A y B son H_0 y H_1 . Tenemos que marcar la pérdida total admisible, que está limitada de manera

que la diferencia de presión entre los citados aspersores, o entre dos posiciones extremas de la línea de estos cuando se desplaza, no sea mayor que $\pm \frac{20H}{100} = H_p$ (siendo H la presión nominal en boquilla de aspersor). Lo anterior quiere decir que en A, sobre H_1 existirá una sobre-presión de $\frac{20H}{100}$; considerando este incremento positivo en A, cabeza de la línea, la altura de presión que puede admitir

se es:

$$H_0 = H_1 + \frac{20H}{100} = H_1 + H_p = H + H_p \text{ ya que normalmente } H_1 \text{ será igual a } H.$$

Usaremos las fórmulas, o ábacos, dados en epígrafes anteriores para el cálculo de las pérdidas en tuberías madres o principales. Conociendo H' , pérdida admisible en AB, y siendo L_1 la longitud de este tramo, la pérdida por m.l. (ó 100 m.l.) será:

$$\frac{H'}{L_1} \left(\text{ó } \frac{100 H'}{L_1} \right)$$

Con este dato y el caudal Q determinamos el ϕ preciso y tomamos los diámetros comerciales inmediatamente superior (d_1) e inferior (d_2).

Según las tablas mencionadas, para Q y d_1 la pérdida por 100 es P_1 , y para Q y d_2 la pérdida por 100 es P_2 , luego la pérdida total, siendo X la longitud de ϕd_1 y $(L_1 - X)$ la de ϕd_2 , será:

$$\frac{X \times P_1}{100} + \frac{(L_1 - X) \times P_2}{100} = H', \text{ que nos dá el valor de } X;$$

$$X = \frac{100 H' \times P_2 L_1}{P_1 - P_2}$$

Ahora bien, como la tubería de A a B es descendente, la pérdida que — puede ser consumida en este trayecto es $H' = \frac{20H}{100} + \text{desnivel entre A y B}$; este valor será el utilizado en el cálculo anterior para señalar los diámetros de tubería precisos.

Los datos necesarios son pues los siguientes:

L_1 = longitud del tramo AB

P_1 = pérdida por 100 en tubería ϕd_1

P_2 = " " " ϕd_2

d_1 = diámetro de tubería en cabeza.

d_2 = " " en cola.

X = longitud de tubería de ϕd_1 .

b) - Cálculo de los diámetros en BC:

En el caso de que las alas de aspersores estén en A y C, por AC circula $\frac{Q}{2}$ (Fig. 57).

En este caso la presión en A, cabeza de la línea, será $H + \frac{20H}{100}$, siendo H la presión en C.

A lo largo de AC aplicaremos el principio de conservación de la energía;

tendremos, tomando el plano de la cota C como comparación:

$$\text{Energía en A} = E_1 + E_2 + H + \frac{2QH}{100} + \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{Energía en C} = H + \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{Las pérdidas admisibles serán: } H^p = E_1 + E_2 + \frac{2QH}{100}$$

Tenemos, en el tramo AB, $(L_1 - X)$ mts. de ϕd_2 y X mts. de ϕd_1 .

para el ϕd_1 se determina, con $Q/2$ las pérdidas por 100: p'_1 ;

para el ϕd_2 se determina, con $Q/2$ las pérdidas por 100: p'_2 ;

La pérdida consumida en el tramo BC será:

$$H^p = \frac{p'_1 \times X}{100} + \frac{p'_2 \times (L_1 - X)}{100} = H^p \quad (a)$$

Con H^p y $Q/2$ determinamos el diámetro adecuado y tomamos los diámetros comerciales inmediatamente superior (d_3) e inferior (d_4).

Con $\frac{Q}{2}$ y ϕd_3 las pérdidas por 100 serán p_3 .

Con $\frac{Q}{2}$ y ϕd_4 " " " " p_4

Siendo Y la longitud del tramo de ϕd_3 y L_2 la BC será:

$$H^p = \frac{Y \times p_3}{100} + \frac{(L_2 - Y) p_4}{100}; \text{ sustituyendo el valor de } H^p \text{ por el}$$

dado en (a).

$$H^p = \frac{p'_1 \times X}{100} + \frac{p'_2 (L_1 - X)}{100} = \frac{Y p_3}{100} + \frac{(L_2 - Y) \times p_4}{100}$$

$$Y = \frac{100 H^p - p'_1 \times X - p'_2 (L_1 - X) - L_2 \times p_4}{p_3 - p_4}$$

En el cálculo mencionado, y con unas pérdidas $H^p = \frac{2QH}{100} + E_1 + E_2$, los datos necesarios son:

X longitud de tubería de ϕd_1 calculada anteriormente.

p'_1 pérdidas por 100 para $Q/2$ en ϕd_1

p'_2 " " " " en ϕd_2

p_3 " " " " en ϕd_3

p_4 " " " " en ϕd_4

L_1 longitud de tubería total en tramo AB.

L_2 longitud de tubería total en el tramo BC.

Y = longitud de tubería de $\phi. d_3$ en cabeza del tramo BC.

En el caso de que el desnivel de A a C sea ascendente. Se sigue el mismo cálculo anterior con la diferencia siguiente:

a) - Si las dos alas de aspersores están en B:

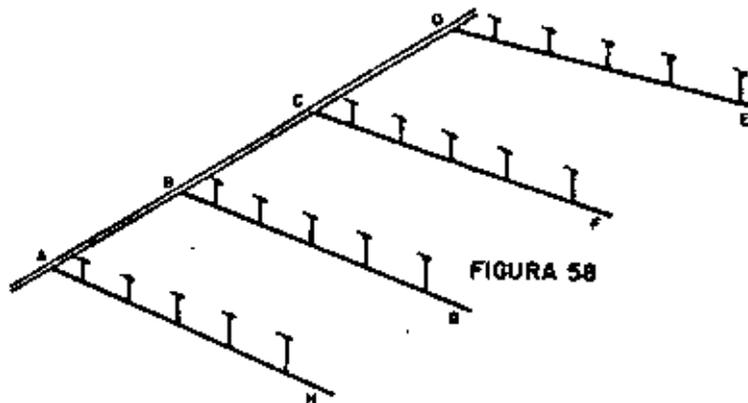
$$H_p = \frac{20H}{100} - \text{Desnivel entre AB.}$$

b) - Si las alas de aspersores están una en A y otra en C:

$$H'' = \frac{20H}{100} - (\text{desnivel } (E_1) \text{ entre A y B} + \text{desnivel } (E_2) \text{ entre B y C}).$$

XIII.2.2.- Caso de varias líneas de aspersores en rotación.

Tenemos el tramo AD sobre el que se instalan en rotación las líneas de aspersores AH, BG, CF y DE (Fig. 58). Las longitudes de los tramos son:



$$AB = L_1; BC = L_2; CD = L_3$$

$$\text{Caudal total} = Q; \text{caudal por rama} = \frac{Q}{4}.$$

Como en el caso anterior, las posiciones extremas que se presentan son:

a) - Que de A a D exista desnivel descendente: las presiones en A, B, C, y D (que son H_0, H_1, H_2 y H_3) tendrán, en lo posible, poca variación con la presión óptima H en boquilla de aspersor; así mismo, como variación máxima, sólo se admite, entre aspersores extremos, $\frac{20H}{100}$.

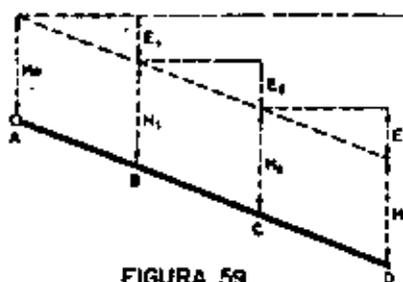


FIGURA 59

Los desniveles son:

Entre A y B : E_1

" B y C : E_2

" C y D : E_3

Casos desfavorables de trabajo:

1º) - 2 ramas en C y 2 ramas en D: El tramo AC conducirá un caudal Q mientras el CD llevará un caudal $\frac{Q}{2}$

2º) - 2 ramas en D, una en C y otra en A.

30) - 2 ramas en B, una en C y otra en A, etc.

Se estudiaría cada una de las posiciones anteriores con el criterio del caso expuesto en el epígrafe anterior, de 2 ramas; se realizaría un estudio de caudales por tramos, como sigue:

2 ramas en C y 2 en D.

Tramo AB : L_1 m. con un caudal Q
 Tramo BC : L_2 m. " " " Q
 Tramo CD : L_3 m. " " " $\frac{Q}{2}$

2 ramas en A y 2 en D.

Tramo AB : L_1 m. con un caudal $\frac{Q}{2}$
 Tramo BC : L_2 m. " " " $\frac{Q}{2}$
 Tramo CD : L_3 m. " " " $\frac{Q}{2}$

2 ramas en D, 1 en B y 1 en A.

Tramo AB : L_1 m. con un caudal $\frac{3}{4} Q$
 Tramo BC : L_2 m. " " " $\frac{Q}{2}$
 Tramo CD : L_3 m. " " " $\frac{Q}{2}$

2 ramas en B, 1 en C y 1 en D.

Tramo AB : L_1 m. con un caudal Q
 Tramo BC : L_2 m. " " " Q
 Tramo CD : L_3 m. " " " $\frac{Q}{4}$

Tenemos que el máximo caudal en el tramo AB es Q
 " " " " " " " " BC es Q
 " " " " " " " " CD es $\frac{Q}{2}$

Por tanto, un caudal mayor que Q nunca pasará más allá de C; asimismo, - el tramo final CD nunca transportará más de $\frac{Q}{2}$.

Con estos datos y sabiendo que $H' = \frac{20H}{100} + E_1 + E_2 + E_3$ es la pérdida de carga total admisible entre A y D, la pérdida por m.l. será $\frac{H'}{L_1 + L_2 + L_3}$ lo que representa para cada tramo las pérdidas siguientes:

Tramo AB:
$$\frac{H'}{L_1 + L_2 + L_3} \times L_1$$

Tramo BC:

$$\frac{H'}{L_1 + L_2 + L_3} \times L_2$$

Tramo CD:

$$\frac{H'}{L_1 + L_2 + L_3} \times L_3$$

Como en AC el caudal es Q, según el cálculo de caudales anterior, con Q y la pérdida por 100 mts. $\frac{100 H'}{L_1 + L_2 + L_3}$, calculamos el ϕ d_1 y el diámetro inmediato inferior d_2 ; sea p_2 la pérdida unitaria para un caudal Q circulando en la tubería de ϕ d_2 ; sea X la longitud de tubería con diámetro d_2 ; la de ϕ d_1 tendrá una longitud $L_1 + L_2 - X$, con una pérdida por 100: $\frac{100 H'}{L_1 + L_2 + L_3}$. Luego:

$$X \times p_2 + (L_1 + L_2 - X) \times \frac{H'}{L_1 + L_2 + L_3} = \frac{H' \times (L_1 + L_2)}{L_1 + L_2 + L_3}$$

De esta expresión obtenemos X, longitud de tubería con ϕ d_2 y $(L_1 + L_2 - X)$, longitud de la tubería de ϕ d_1 .

A continuación, se realiza un cálculo similar para los diámetros de tubería en el tramo CD.

b) - Si el desnivel de A a D es ascendente se seguirían los mismos criterios estipulados para el caso análogo en el epígrafe anterior.

XIV - DETERMINACION DE LA TUBERIA MAS ECONOMICA

Para el estudio de los diámetros de tubería más económicos, es preciso establecer un balance entre el coste anual de amortización de las tuberías y el de bombeo. El balance indicado depende de:

- a) - Coste de las tuberías.
- b) - Años de vida.
- c) - Horas de operación del equipo por temporada de riego.
- d) - Potencia empleada.
- e) - Coste unitario de energía.

Un ejemplo se dá como aclaración para el empleo de los dos factores - anteriores:

En una zona de buena pluviometría, el tiempo de empleo del equipo es de 500 horas por estación de riego, o menos, y el coste de fuerza es bajo al no precisar grandes intensidades de lluvia. En este caso, pueden incrementarse las pérdidas por rozamiento a costa de menores secciones en la tubería.

Por el contrario en zonas de escasa pluviometría, en que el agua se encuentra a gran profundidad, se necesitan mayores presiones que, junto con el mayor número de horas del equipo, exigen costes elevados de bombeo; cualquier incremento en las pérdidas por rozamiento eleva excesivamente el coste anterior y puede convenir aumentar el tamaño de la tubería.

Con el fin de determinar fácilmente las amortizaciones de un equipo damos el cuadro de factores para su cálculo (según el tipo de interés y años de vida del equipo que se considere):

Factores de amortización a interés compuesto

<u>Años de vida</u>	<u>3%</u>	<u>4%</u>	<u>5%</u>	<u>6%</u>
5	0,21835	0,22463	0,23097	0,23740
10	0,11723	0,12329	0,12950	0,13587
15	0,08377	0,08994	0,09634	0,10296
20	0,06722	0,07358	0,08024	0,08718
25	0,05743	0,06401	0,07095	0,07823
30	0,05102	0,05783	0,06505	0,07265
40	0,04326	0,05052	0,05828	0,06646

(Los factores anteriores comprenden el coste anual, por depreciación de la tubería, más el interés compuesto del dinero invertido).

Para determinar los coste anuales de bombeo se pueden emplear las siguientes fórmulas:

(1) Motor eléctrico:

$$\text{Coste horario de bombeo} = C = \frac{Q \times h \times q \times 0,736 \times p_e}{r_b \times r_m \times 75}$$

Siendo:

Q = caudal en m³/seg.

h = altura total de elevación (incluyendo pérdidas) en mts.

q = coste del Kw - h

r_b = rendimiento de la bomba

r_m = rendimiento del motor

p_e = peso del m³ de agua en Kg.

(2) Motor de explosión:

$$\text{Coste horario de bombeo} = C = \frac{Q \times h \times q \times L \times p_e}{r_b \times 75}$$

Siendo:

Q = caudal en m³/seg.

h = altura total de elevación en mts.

q = coste del litro de combustible empleado

r_b = rendimiento del grupo

L = consumo de combustible litros/caballo . hora

pe = peso del m³ de agua en Kg.

Ejemplo de aplicación:

Un equipo de riego por aspersión tiene una capacidad de 2.000 litros - por minuto.

La longitud de la línea principal es de 396 mts. y suponemos que es -- de 15 años la vida del equipo.

Los diámetros de tubería a emplear y sus precios unitarios son:

200 mm.	130 Pts. m.l.
150 mm.	110 " m.l.
125 mm.	80 " m.l.
100 mm.	70 " m.l.

Coste del Kw/hora: 1 Ptas.

r_m = rendimiento motor eléctrico = 58%

r_b = rendimiento de la bomba = 65%

Horas de empleo por temporada de riego: 480

Supongamos que el cálculo de las posibles tuberías convenientes nos ha dado las longitudes y pérdidas de carga siguientes:

Pérdidas de carga	LONGITUDES DE TUBERIA SEGUN ϕ ADOPTADOS			
	ϕ 200	ϕ 150	ϕ 125	ϕ 100
4,5 mts	102	204	190	-
7,5 mts	-	198	186	12
10,5 mts	-	138	198	60
13,5 mts	-	84	210	102

Con los datos anteriores se determina el coste total de cada combinación de ϕ de tubería:

Soluciones	Pérdida de carga	Coste tubería
1a)	4,5	102 x 130 + 204 x 110 + 190 x 80 = 50.900
2a)	7,5	198 x 110 + 186 x 80 + 12 x 70 = 37.500
3a)	10,5	138 x 110 + 198 x 80 + 60 x 70 = 35.220
4a)	13,5	84 x 110 + 210 x 80 + 102 x 70 = 34.180

Diferencia solución (1ª) a (2ª)	13.400 pts.
" " (2ª) a (3ª)	2.280 "
" " (3ª) a (4ª)	1.040 "

Para 15 años de vida útil y un interés del 4% la tabla nos da un factor de amortización de 0,08994.

Las diferencias anuales entre los costes de amortización de tubería de las diferentes soluciones estudiadas son:

Entre las soluciones 1ª y 2ª	13.400 x 0,08994 = 1.205,20
" " 2ª y 3ª	2.280 x 0,08994 = 205,06
" " 3ª y 4ª	1.040 x 0,08994 = 93,54

La diferencia entre los costes de bombeo (considerando motor eléctrico, y teniendo en cuenta que el aumento de pérdidas de una solución a otra tiene un valor constante de 3 mts.) será:

$$Q = \frac{2.000}{1.000 \times 60} = 0,033 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$C = \frac{0,033 \times 3 \times 1 \times 0,736}{0,85 \times 0,65 \times 75} \times 1.000 = 1,75 \text{ Pts/hora}$$

Como son 480 horas de funcionamiento al año, el coste anual por cada 3 mts. de incremento de presión será de $480 \times 1,75 = 840$ pts.

Sustitución de 1ª solución con la segunda:

Disminución de costes de amortización de tubería anual	1.205,20
Aumento por coste de bombeo	840,00
	<hr/>
	365,20 Pts. de ahorro

Sustitución de 2ª solución con la 3ª:

Disminución de costes de amortización de tubería anual	205,06
Aumento de coste de bombeo	840,00
	<hr/>
	634,54 Pts. de aumento

Luego sólo es económica la 1ª sustitución.

Si las horas de funcionamiento fueran 100 el coste de bombeo sería $100 \times 1,75 = 175$ Pts.; siguiendo el mismo procedimiento anterior, se llegaría a la conclusión de que la sustitución más económica sería la 2ª.

XV - DATOS COMPLEMENTARIOS PARA LA REDACCION DE UN PROYECTO DE RIEGO POR
ASPERSION

Para el sistema de conducción móvil empleado en el riego por aspersión existe una serie de piezas auxiliares (descritas en el epígrafe II - ELEMENTOS QUE COMPONEN UN EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSION). Estas producen pérdidas de carga que es preciso computar en el cálculo de las pérdidas totales, añadiéndolas a las que se producen a lo cargo de las tuberías.

Las pérdidas totales antes indicadas, los desniveles topográficos existentes desde el punto de toma o captación del agua hasta el de emplazamiento del equipo y la presión de trabajo necesaria en boquilla del aspersor, nos proporcionan la altura total dinámica a que debe ser bombeada el agua. Esta altura total varía entre dos cifras extremas a causa de las posiciones más o menos alejadas que los sistemas de regadores pueden tener sobre el terreno. Es necesario conocer esas cifras con exactitud para elegir el tipo, o tipos, de bomba que cumpla las condiciones exigidas con el mayor rendimiento (consumiendo así, por tanto, la menor potencia posible en su funcionamiento).

En este epígrafe se dan las pérdidas por codos, válvulas, tes etc., para el fin antes indicado, así como ábacos, complementarios de los que se han dado en epígrafes anteriores, para las pérdidas por rozamiento en tuberías principales y derivadas.

XV.1.- Pérdidas por codos, válvulas, tes, etc.

Esas piezas auxiliares son de empleo, tanto en las tuberías principales, como en las propias alas de regadores. Sus pérdidas se computan por la fórmula:

$$K \frac{v^2}{2g}$$

en la que:

K = coeficiente experimental de aplicación variable, según la pieza o dispositivo.

$\frac{v^2}{2g}$ = altura representativa de la velocidad con la que circula el agua en el dispositivo.

El dato obtenido por la aplicación de esta fórmula nos da la pérdida producida en mts. Los distintos valores del coeficiente K se consignan en la Tabla de la figura 60, y en la figura 61 damos un cuadro que facilita el cálculo de estas pérdidas, figurando allí las alturas representativas de la velocidad.

XV.2.- Otros datos de interés.

Cerramos esta recopilación con una serie de informaciones complementarias que pueden servir para la redacción de un proyecto de Riego por aspersión.

Dijimos que para la elección del tipo de bomba era necesario conocer las dos cifras extremas entre las que oscilará la altura dinámica total. La necesidad de que un mismo grupo moto-bomba eleve al agua a esas diferentes alturas puede obligar a bajas de rendimiento en el tipo adoptado, las cuales será preciso prever al calcular la potencia necesaria.

La altura dinámica total es suma de:

1º.-Altura necesaria para accionar la línea de aspersores o alas regadoras en las condiciones óptimas.

2º.-Altura de pérdidas por rozamiento en las conducciones principales y derivadas, tanto móviles como fijas.

3º.-Altura que suponen las pérdidas en codos, válvulas, tes y otros diversos dispositivos del equipo.

4º.-Altura estática total (desnivel) que existe entre el punto de captación del agua y el de tendido de la última línea de aspersores, o alas regado

FIGURA 60

VALORES DEL COEFICIENTE K PARA APLICACION EN LA FORMULA $K \times \frac{V^2}{2g}$ (PERDIDAS DE CARGA EN PIEZAS AUXILIARES PARA TUBERIAS DE CONDUCCION DE AGUA)

PIEZAS AUXILIARES	DIAMETRO NOMINAL							PROCEDENCIA
	3 pulgadas 76,20 mm.	4 pulgadas 101,60 mm.	5 pulgadas 127,00 mm.	6 pulgadas 152,40 mm.	7 pulgadas 177,80 mm.	8 pulgadas 203,20 mm.	10 pulgadas 254,00 mm.	
Codos de 180° (de retorno):								Manual de rozamientos en tuberías del Instituto de Hidráulica.
Embridado.....	0,33	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,24	
Roscado.....	0,80	0,70						
Tes de derivación:								"
Corriente, en línea embridada.	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	
Corriente, en rama embridada..	0,73	0,68	0,65	0,60	0,58	0,56	0,52	
Corriente, en línea roscada ..	0,90	0,90						
Corriente, en rama roscada ...	1,20	1,16						
Válvulas:								"
Embridada esférica.....	7,0	6,3	6,0	5,8	5,7	5,6	5,5	
Roscada esférica.....	6,0	5,7						
Embridada de galera.....	0,21	0,16	0,13	0,11	0,09	0,075	0,06	
Roscada de gátera.....	0,14	0,12						
De retención embridada.....	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
De retención roscada.....	2,1	2,0						
Angular de contrapresión embridada.....	2,2	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
Angular de contrapresión roscada.....	1,3	1,0						
De aspiración.....	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	
Colector tipo cesto.....	1,25	1,05	0,95	0,85	0,80	0,75	0,67	
Bocas de entrada o aducción:								
Proyección streamlinada.....	0,78							
Esquinas afiladas.....	0,50							
Ligeramente redondeadas.....	0,23							
Acampanadas.....	0,04							
Ensanchamiento brusco.....	$K = \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right)^2$ Siendo d_1 = diámetro de la tubería pequeña							S.I.A. handbook
Contracción brusca.....	$K = 0,7 \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right)^2$ Siendo d_1 = diámetro de la tubería pequeña							S.I.A.
Codos:								Manual de rozamientos en tuberías del Instituto de Hidráulica.
Regular embridado 90°.....	0,34	0,31	0,30	0,28	0,27	0,26	0,25	
Embridado de radio largo 90°..	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17	0,15	0,14	
Embridado de radio largo 45°..	0,19	0,18	0,15	0,17	0,17	0,17	0,16	
Roscado regular 90°.....	0,80	0,70						
Roscado de radio largo 90°... Roscado regular 45°.....	0,30 0,30	0,23 0,28						

FIGURA 61

VALORES DE ALTURA REPRESENTATIVA DE LA VELOCIDAD
SEGUN CAUDAL EN TUBERIAS DE ALUMINIO

Caudal l/s	DIAMETRO DE LA TUBERIA (mm)						
	76,20 74,02	101,60 99,21	127,00 124,36	152,40 149,45	177,80 174,55	203,20 199,54	254,00 240,38
3,15	0,03	0,01					
6,31	0,11	0,03	0,01	0,01			
9,48	0,25	0,08	0,03	0,01			
12,62	0,44	0,14	0,05	0,03	0,01		
15,77	0,68	0,21	0,09	0,04	0,03		
18,92	0,99	0,30	0,12	0,06	0,03	0,02	
22,08	1,34	0,42	0,17	0,08	0,04	0,02	
25,23	1,75	0,54	0,22	0,10	0,06	0,03	0,01
28,39		0,69	0,28	0,13	0,07	0,04	0,01
31,64		0,85	0,34	0,16	0,09	0,05	0,02
34,70		1,03	0,42	0,20	0,11	0,06	0,03
37,85		1,22	0,49	0,24	0,13	0,07	0,03
41,00		1,43	0,58	0,28	0,15	0,09	0,04
44,16		1,66	0,67	0,32	0,17	0,10	0,04
47,31		1,91	0,77	0,37	0,20	0,12	0,05
50,47			0,88	0,42	0,23	0,13	0,05
53,62			0,99	0,48	0,26	0,15	0,06
56,77			1,11	0,53	0,29	0,17	0,07
59,93			1,24	0,59	0,32	0,19	0,08
63,08			1,37	0,66	0,35	0,21	0,08
66,39			1,66	0,80	0,43	0,25	0,10
75,70			1,98	0,95	0,51	0,30	0,12
82,01				1,11	0,60	0,35	0,14
88,32				1,29	0,69	0,41	0,17
94,62				1,48	0,80	0,47	0,19
100,93				1,69	0,91	0,53	0,22
107,24				1,90	1,02	0,60	0,25
113,55					1,15	0,67	0,27
119,86					1,28	0,75	0,31
126,17					1,42	0,83	0,34

ra, incluyendo la altura de aspiración si existe.

La elección del tipo de bomba adecuado y el estudio de la planta de bombeo, se orientará por otras normas complementarias de esta publicación, ya que es idéntica esta elección para riego por aspersión y para elevaciones normales en las que se aplicará el riego de pie.

En la figura 62 se da un ábaco para determinar las pérdidas por rozamientos en las tuberías principales o derivadas, en cada tramo de 300 mts. asimismo, en la fig. 63, se da una Tabla de pérdidas por rozamiento en hidrantes - (o tomas de agua para aspersor) de tubería móvil o de jardinería y, asimismo, - las pérdidas por 30 mts. de manguera. Esta última se utilizará para permitir varias posiciones del aspersor por cada tendido de las tuberías móviles.

El manejo del ábaco de la fig. 62 es como sigue: el caudal que ha de circular por la conducción, en litros por minuto, se busca en la escala horizontal; se eleva por él una vertical hasta su encuentro con la línea del ϕ de la tubería a emplear, y, por este punto, se traza una horizontal, que nos dará, en su encuentro con las verticales derecha e izquierda, indistintamente, la pérdida de carga por 300 mts. de tubería.

Si, partiendo de la pérdida de carga admisible y el caudal a transportar, se desea conocer el ϕ preciso, se busca la primera en la escala izquierda o derecha, trazando por ella una horizontal; se busca el caudal en la escala horizontal y se levanta una vertical: el punto de encuentro de estas dos líneas - nos dá el ϕ de la tubería y, caso de no coincidir exactamente con las líneas del ábaco que lo señalan, se toma el diámetro inmediato superior.

Se dan por último, como datos complementarios de utilidad en el proyecto de una instalación de riego por aspersión, los que se refieren a eficiencias - o rendimientos del mismo. Los diversos factores que lo afectan son los siguientes:

a) Variaciones de descarga, o caudal, suministrado por cada aspersor a lo largo de la línea o ala regadora.

b) Variaciones en la distribución de la lluvia sobre el terreno en el área regada por cada aspersor: estas son causadas principalmente por la acción - del viento y pueden llegar a acumular totalmente el agua sobre parte de la zona regada por el chorro, a favor de su dirección. La magnitud de esta influencia de la acción del viento depende también de la presión de trabajo en boquilla del aspersor y de su velocidad de giro.

c) Pérdidas de agua por evaporación directa en el chorro pulverizado: - aumentan con la temperatura y velocidad del viento.

d) Pérdidas de agua por retención en las hojas del cultivo: disminuyen al aumentar los volúmenes, o dosis, de riego por Ha.

ABACO PARA DETERMINAR LAS PERDIDAS POR ROZAMIENTOS EN LAS TUBERIAS PRINCIPALES Y DERIVADAS.

La pérdida es por 300 mts. de longitud de tubería.

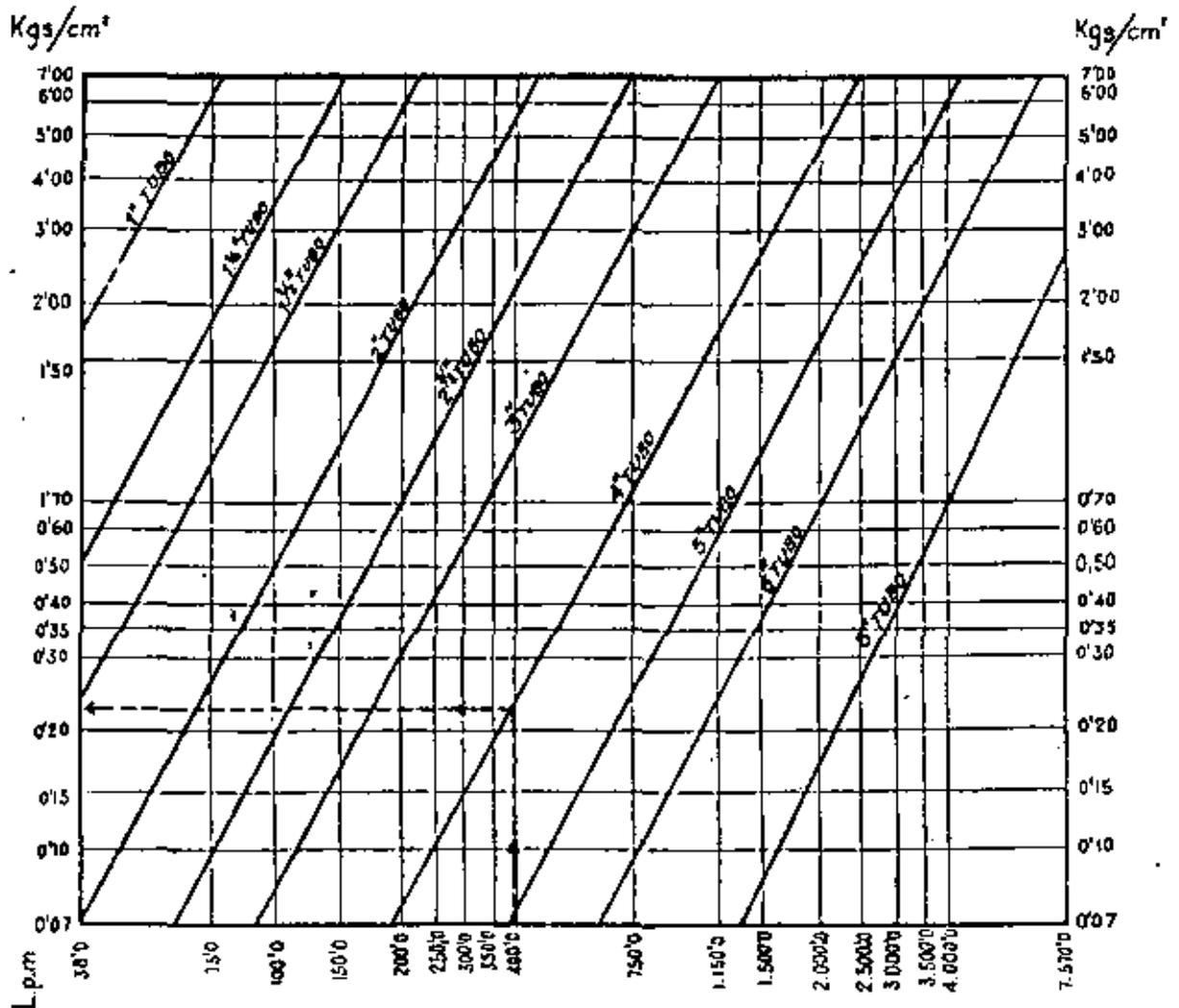


FIG. 62

FIGURA 63

PERDIDAS POR HOZAMIENTO EN MANGUERAS E HI-
DRANTES DE JARDINERIA

Caudal (l.p.m.)	Por cada 30 m. de manguera		En hidrante de jardín	
	3/4"	1"	3/4"	1"
18,9	0,48	0,11	0,02	0,01
22,7	0,67	0,14	0,03	0,01
26,5	0,90	0,19	0,04	0,01
30,3	1,13	0,25	0,06	0,02
34,1	1,41	0,31	0,07	0,03
37,8	1,71	0,39	0,08	0,04
45,4	2,39	0,56	0,12	0,05
53,0	3,18	0,73	0,16	0,06
60,6	4,08	0,85	0,22	0,08
68,1	5,06	1,15	0,27	0,11
75,7	6,19	1,41	0,34	0,13
83,3		1,69	0,41	0,16
90,8		1,97	0,48	0,19
98,4		2,28	0,56	0,23
106,0		2,62	0,65	0,26
113,6		2,95	0,75	0,30

e) Evaporación de la superficie del suelo y de las hojas: disminuye a medida que aumenta la profundidad de terreno mojada.

Como orientación sobre rendimientos, en sistema de riego por aspersión bien proyectados, damos los datos siguientes:

Rendimientos del riego por aspersión (%)

Velocidad media del viento (km/h)	0-6		6-15		15-23	
Intensidad de lluvia (mm/h)	< 12	> 12	< 12	> 12	< 12	> 12
Dosis aplicadas: < 500 m ³ / Ha	65	70	60	65	55	60
> 500 m ³ / Ha	70	75	65	70	60	65

En el riego de zonas con consumo de evapo-transpiración diario inferior a 5 mm. conviene considerar un 5% de aumento en los rendimientos anteriores; así mismo, en riegos bajo arbolado.

Finalizamos aquí esta publicación de "Normas para la Redacción de proyectos de riego por aspersión", la cual será complementada con otra sobre elección de bombas de elevación de agua, según las condiciones de empleo y su utilización en el riego.

BIBLIOGRAFIA

- RIEGOS POR ASPERSION - Faustino García Lozano - Editorial Dossat S.A. - 1954
- EL RIEGO POR ASPERSION - Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y alimentación - Aldert Molenaar - Roma 1960.
- SPRINKLER IRRIGATION - Division of Agriculture Science - University of California Verne H Scott Circular 456.
- SPRINKLING FOR IRRIGATION - California Agricultural Experiment Station F.J. Veihmeyer Circular 388 Noviembre 1948.
- SPRINKLER IRRIGATION - Prepared by Sprinkler Irrigation Association - 1955.
- IRRIGATION - SECTIONS - Chapter 11 Sprinkler Irrigation - Soil Conservation Service - United States Department of Agriculture Enero 1960.

ASPERSOR MULTIPLE

DESPLAZAMIENTO MANUAL

POSICION NO FIJA

POSICION FIJA

DESPLAZAMIENTO POR TRACTOR

MONTADO EN PATIN

MONTADO EN RUEDAS

AUTO DESPLAZABLE

CON RUEDAS LATERALES

LATERALMENTE

AUTO PROPULSADO

CON PIVOT

LATERALMENTE

ASPERSOR SENCILLO

DESPLAZAMIENTO MANUAL

DESPLAZAMIENTO POR TRACTOR

MONTADO EN PATIN

MONTADO EN RUEDAS

AUTO PROPULSADO

ASPERSOR BOOM

DESPLAZAMIENTO POR TRACTOR

DESPLAZAMIENTO POR TRACTOR

AUTO-PROPULSADO

PERMANENTE

FIJO

1578

Figura 45

